على جائزة دولة الكويت
التشجيعية
ستيفن هوكينغ
نظرية كل شيء
أصل ومصير الكون
ترجمة وتعليق/ يوسف البناي
مكتبة
Telegram Network
مركز العلوم الطبيعية

نظرية كل شيء
أصل ومصير الكون

- نظرية كل شيء، أصل ومصير الكون
- ستيفن هوكينغ
- ترجمة وتعليق / يوسف البناي
- الطبعة السابعة ٢٠٢٢

مركز العلوم الطبيعية

الموقع الإلكتروني: www.naturalsciences.info البريد الإلكتروني: darnaturalscience@gmail.com

تويتر / انستقرام: مركز العلوم الطبيعيةnatural_scie@

للتواصل مع المترجم:

بريد إلكتروني/ youssef.albanay86@gmail.com تويتر/ @youssefalbanay

---

جميع الحقوق محفوظه لمركز العلوم الطبيعية ولا يجوز تقليد أو نشر أو نسخ أي جزء من هذا الكتاب دون إذن خطي مسبق من الناشر.

مكتبة الكويت الوطنية
رقم الإيداع: 0429 / 2018
الردمك: 978-9921-0-0130-3

نظرية كل شيء

أصل ومصير الكون

«مكتبة ♔ النخبة»

المحتويات

مقدمة المترجم.....7

مقدمة المؤلف..... 9

المحاضرة الأولى: أفكار حول الكون..... 12

المحاضرة الثانية: الكون المتمدد..... 22

المحاضرة الثالثة: الثقوب السوداء..... 40

المحاضرة الرابعة: الثقوب السوداء ليست سوداء تماماً 58

المحاضرة الخامسة: أصل ومصير الكون 75

المحاضرة السادسة: اتجاه الزمن..... 96

المحاضرة السابعة "والأخيرة": نظرية كل شيء..... 108

مقدمة المترجم

هذه هي تجربتي الأولى في ترجمة أحد كتب أدبيات الفيزياء. لقد قمت من قبل بتقديم بعض الترجمات لبعض الوثائقيات الجميلة المنشورة في يوتيوب مثل سلسلة (نسيج الكون) الرائعة التي قدمها برايان غرين. وأغلب من عرفني عن طريق الكتب قد عرفني من خلال كتبي الثلاثة المتعلقة بالنظرية النسبية الخاصة والعامة وميكانيكا الكم. وها هو ذا رابع كتاب يحمل اسمي لكن هذه المرة كمترجم وليس كمؤلف.

ستيفن دبليو هوكينغ، هو تقريباً أشهر عالم فيزياء مازال على قيد الحياة. وقد اكتسب تلك الشهرة عندما نشر كتابه (موجز تاريخ الزمن) في ثمانينيات القرن الماضي. ذلك الكتاب الذي حقق ملايين المبيعات وقد تم ترجمته إلى أكثر من خمسة وثلاثين لغة. فما الذي كان مميزاً في ذلك الكتاب؟ الإجابة هو أنه كان من أوائل الكتب التي بسطت أعقد مواضيع الفيزياء وقدمتها إلى الجمهور العام بشكل رائع وبلغة مفهومة للجميع. لقد كان هوكينغ يشعر بالتعاطف الشديد مع عامة الناس ويود باستمرار أن يخبرهم عن جمال وعظمة الكون. وهذا، برأيي، ما جعل هوكينغ يحظى بكل تلك الشهرة والتقدير. ببساطة، لقد كسر الحاجز الذي يفصل عالم الفيزياء عن الجمهور العام وبدأ يتحدث معهم بلغة بسيطة وجذابة، لا تخلو من الظرافة، حول كيفية عمل الكون وما فيه. ومنذ ذلك الوقت ألهم هوكينغ الكثير من علماء الفيزياء المختصين، وقد كسروا بالفعل الحاجز الذي بينهم وبين الناس وبدأوا بتحبيب الجمهور بالعلوم بشكل عام والفيزياء بشكل خاص، سواء عن طريق الكتابة أو تقديم البرامج أو غيرها من طُرق التواصل.

في سلسلة المحاضرات هذه، يُغطي هوكينغ كل شيئ من حجج أرسطو حول كروية الأرض إلى اكتشاف هابل بحقيقة تمدد الكون، ثم يروي لنا قصة نظرية الانفجار العظيم، ويعرج بعدها إلى موضوعه المفضل: الثقوب السوداء والتي وصفها بأنها تشبه "البحث عن قطة سوداء في قبو فحم"، وأخيراً يحدثنا عن حلم النظرية النهائية التي سيُشكل العثور عليها "النصر النهائي للعقل البشري".

إضافة إلى ذلك، فقد كنت حريصاً جداً على وضع عدة ملاحظات في كل فصل حول كل نقطة رأيت أنها في حاجة إلى شرح أكثر، وذلك ليبقى القارئ في اتزان متواصل أثناء قراءته وأيضاً ليعزز حصيلته العلمية في هذه الرحلة

الاستكشافية الكونية الملهمة. أيضاً عليّ التنويه هنا أن سلسلة المحاضرات هذه قد ألقاها هوكينغ في تسعينيات القرن الماضي. ومنذ ذلك الوقت قد حدثت أشياء كثيرة في الفيزياء، لذا وضعت عدة ملاحظات أخرى حول ما تم إثباته بالتجربة وما لم يتم إثباته حتى الآن.

أتمنى لك رحلة ممتعة ...

يوسف البناي سبتمبر ٢٠١٧

مقدمة المؤلف

في سلسة المحاضرات هذه سأحاول شرح الخطوط العريضة لما نعتقد أنه يمثل تاريخ الكون من الانفجار العظيم إلى الثقوب السوداء. في المحاضرة الأولى، سأستعرض بإيجاز الأفكار السابقة حول الكون وكيف وصلنا إلى ما وصلنا إليه الآن. يمكنك أن تسمي ذلك التاريخ (تاريخ الكون).

في المحاضرة الثانية، سأصف كيف أدت نظريتا نيوتن وآينشتاين في الجاذبية إلى استنتاج أن الكون لا يمكن أن يكون ساكناً. فإما أن يتمدد أو أن ينكمش. وهذا يعني ضمناً أنه في وقت ما قبل حوالي عشرة إلى عشرين بليون [1] سنة كان الكون لا متناهي الكثافة. وهذا ما نسمية الانفجار العظيم. وهو ما يفتح إمكانية أن يكون للكون بداية.

في المحاضرة الثالثة، سوف أتحدث عن الثقوب السوداء. تتشكل تلك الثقوب عندما ينهار نجم ضخم على نفسه تحت تأثير ثقل الجاذبية الخاص به. فوفقاً لنظرية آينشتاين في النسبية العامة، أي شخص أحمق بما فيه الكفاية ليقع داخل ثقب أسود سوف يضيع إلى الأبد. لن يتمكن أبداً من الخروج من الثقب الأسود مرة أخرى. سيسقط إلى ما يسمى بالفردانية Singularity. لكن النظرية النسبية العامة هي نظرية كلاسيكية، أي أنها لا تأخذ في الاعتبار مبدأ عدم اليقين في ميكانيكا الكم.

في المحاضرة الرابعة، سوف أصف كيف تسمح ميكانيكا الكم بتسريب الطاقة من الثقوب السوداء. الثقوب السوادء ليست سوداء تماماً كما كان يُعتقد!

في المحاضرة الخامسة، سأُطبق الأفكار الكمومية على الانفجار العظيم وأصل الكون. ما سيؤدي بنا يؤدي إلى فكرة أن الزمكان قد يكون محدوداً في المدى، لكن من دون حدود أو حواف. سيكون مثل سطح الأرض ولكن مع بعدين إضافيين اثنين.

في المحاضرة السادسة، سأبين كيف يمكن لهذا المقترح الحدودي الجديد أن يفسر سبب اختلاف الماضي عن المستقبل، رغم أن قوانين الفيزياء متناظرة زمنياً.

أخيراً، في المحاضرة السابعة، سأصف طريقة محاولتنا لإيجاد نظرية موحدة تشمل ميكانيكا الكم، الجاذبية، وجميع التفاعلات الأخرى للفيزياء. وإذا ما

حققنا ذلك، سنفهم الكون وموقفنا فيه.

ستيفن دبليو هوكينغ

المحاضرة الأولى

آفكار حول الكون

منذ زمن بعيد جداً، حوالي ٣٤٠ قبل الميلاد، في كتابه عن السماوات، كتب أرسطو اثنتين من الحجج الجيدة للاعتقاد بأن شكل الأرض يشبه كرة مستديرة بدلاً من كونها لوح مسطح. أولاً، أدرك أن خسوف القمر سببه يعود لتواجد الأرض بين الشمس والقمر. كان ظل الأرض على القمر دائرياً، ولا يصح ذلك إلا إذا كانت الأرض كروية. لو كانت الأرض مسطحة لكان الظل ممدوداً وبيضاوي الشكل، إلا إذا كان الكسوف يحدث في الوقت الذي تكون فيه الشمس فوق مركز القرص مباشرة.

ثانياً، عرف الإغريق من ترحالهم أن النجم القطبي يظهر أكثر انخفضاً من موقعه الأصلي في السماء عندما يُنظر إليه من الجنوب. فمن الاختلافات في الموقع الظاهري للنجم القطبي في اليونان ومصر، نُقل عن أرسطو أنه قَدَرَ من ذلك أن المسافة المنحنية حول الأرض تساوي أربعمائة ألف ستاديا Stadia . ولم يكن معروف بالضبط كم تبلغ وحدة الاستاديا، لكن قد تساوي حوالي مائتي ياردة. وهذا ما يجعل من تقديرات أرسطو مساوية حوالي لضعف الرقم المقبول حالياً.

أيضاً كان للإغريق حجة ثالثة بأن الأرض يجب أن تكون ككرة مستديرة؛ فلماذا يرى المرء أولاً أشرعة السفينة القادمة من الأفق أولاً وبعد ذلك يرى هيكل السفينة؟ لقد اعتقد أرسطو أن الأرض ثابتة وأن الشمس والقمر والكواكب

والنجوم تتحرك حول الأرض. كان يعتقد ذلك لأنه شعر، لأسباب صوفية، بأن الأرض هي مركز الكون وأن الحركة الدائرية هي الحركة الأكثر مثالية.

هذه الفكرة قد وضعها بطليموس في القرن الأول الميلادي في أول نموذج كوني كامل. كانت الأرض تقبع في المركز، محاطة بثمانية أفلاك، تحمل القمر والشمس والنجوم والكواكب الخمسة المعروفة آنذاك: عطارد، الزهرة، المريخ، المشتري، وزحل. الكواكب نفسها تدور في دوائر أصغر مربوط كل منها في فلكها (الدائرة الأكبر) الذي يدور حول الأرض، وذلك لحساب مساراتها المعقدة الملحوظة في السماء. والكرة السماوية الخارجية كانت تحمل ما يسمى بالنجوم الثابتة، والتي تبقى دائماً في نفس مكانها بالنسبة لبعضها البعض ولكن هي تدور أيضاً عبر السماء. أما ما وراء الكرة السماوية الخارجية فلم يكن واضحاً أبداً، لكنه بالتأكيد ليس جزءاً من الكون البشري الملحوظ.

لقد وفر نموذج بطليموس نظاماً دقيقاً بشكل معقول للتنبؤ بمواقع الأجرام السماوية في السماء. ولكن من أجل التنبؤ بهذه المواقع بشكل صحيح، كان على بطليموس أن يفترض أن القمر يتبع مساراً بحيث يظهر مرتين بالقرب من الأرض كما في أوقات أخرى. وهذا يعني أن القمر في بعض الأحيان يظهر مرتين أكبر من حجمه المعتاد. لقد كان بطليموس على معرفة بهذا الخلل، ولكن رغم ذلك كان نموذجه بشكل عام، وإن لم يكن كونياً، مقبولاً. وقد تم اعتماده من قبل الكنيسة المسيحية كصورة للكون وفقاً للكتاب المقدس. كان له ميزة عظيمة بأن ترك الكثير من المساحة خارج الكرة السماوية الخارجية للجنة والنار.

ومع ذلك تم اقتراح نموذج أبسط بكثير في عام ١٥١٤ بواسطة الكاهن البولندي، نيكولاس كوبرنيكوس. في البداية، خوفاً من اتهامه بالهرطقة، نشر كوبرنيكوس نموذجه تحت اسم مجهول الهوية. كانت فكرته تكمن في جعل الشمس ثابتة في المركز وأن الأرض وبقية الكواكب تتحرك بمدارات دائرية حول الشمس. للأسف، لم تُؤخذ فكرته على محمل الجد إلا بعد مرور قرن من الزمن. حيث بدأ اثنان من علماء الفلك؛ الألماني يوهانس كبلر، والإيطالي غاليليو غاليلي، بدعم نظرية كوبرنيكوس علناً، رغم أن المدارات التي تنبأت بها النظرية الكوبرنيكية لا تتطابق مع المدارات التي لوحظت. وجاءت وفاة نظرية أرسطو- **بطليموس عام ١٦٠٩. ففي ذلك العام بدأ جاليليو بمراقبة السماء بواسطة تلسكوبه، الذي اخترعه هو بنفسه.**

عندما نظر إلى كوكب المشتري، وجد جاليليو أنه كان مصحوباً بعدد من الأقمار الصغيرة، التي كانت تدور حوله. وهذا يدل على أنه ليس كل شيئ يدور حول الأرض كما اعتقد كل من أرسطو و بطليموس. وبطبيعة الحال، كان من

الممكن الا**عتقاد بأن الأرض كانت ثابتة في وسط الكون، ولكن أقمار المشتري تتحرك على مسارات معقدة للغاية حول الأرض، مما يعطي انطباع أنها تدور حول كوكب المشتري. لكن، كانت نظرية كوبرنيكوس أبسط بكثير في تفسير سلوك هذه المسارات.**

وفي نفس الوقت تقريباً، عدل كبلر نظرية كوبرنيكوس، باقتراحه أن الكواكب لا تتحرك بشكل دائري، بل بشكل بيضاوي أو إهليليجي. وأخيراً تطابقت التنبؤات مع الملاحظات. أما بالنسبة إلى كبلر، فقد كانت هذه المدارات الإهليلجية مجرد فرضية خاصة، بل قبيحة نوعاً ما، لأن المدارات البيضاوية أقل كمالاً من المدارات الدائرية. وبعدما تم اكتشاف، عن طريق الصدفة تقريباً، أن المدارات الإهليلجية تتلائم مع الملاحظات التجريبية بشكل ممتاز، **لم يتمكن من التوفيق مع فكرته بأن الكواكب تدور حول الشمس بواسطة قوى كهرومغناطيسية.**

ولم يتم تقديم تفسير أكثر من ذلك إلا بعد مرور فترة طويلة من الزمن، عام ١٦٨٧، عندما نشر نيوتن كتابه برنكيبيا (**المبادئ الرياضية للفلسفة الطبيعية**). ربما **كان هذا أهم عمل فردي تم نشره على الإطلاق في العلوم الطبيعية.** في هذا الكتاب، لم يطرح نيوتن فقط نظرية حول كيفية تحرك الأجرام في الفضاء والزمن، بل أيضاً وضع الرياضيات اللازمة لتحليل تلك **الحركات. بالإضافة إلى ذلك، وضع نيوتن قانوناً شاملاً للجاذبية. وقال أن كل جسم في الكون ينجذب نحو كل جسم آخر بقوة تشتد مع كبر كتلة الجسم والمسافة بينهما. وهذه القوة هي نفسها المسؤولة عن سقوط الأجسام حول الأرض. وبالمناسبة، قصة سقوط تفاحة على رأس نيوتن هي على الأرجح مجرد اسطورة وليست حقيقة.** كل ما قاله نيوتن عن نفسه أنه اكتشف فكرة الجاذبية عندما كان في مزاج تأملي وهو يرى تفاحة تسقط أمامه.

بحسب قانونه، بين نيوتن أن الجاذبية هي من يجعل القمر يتحرك في مدار بيضاوي حول الأرض وهي من تجعل الأرض وبقية الكوا**كب يتحركون بمدارات بيضاوية حول الشمس.** لقد تخلص النموذج الكوبرنيكي من أفلاك بطليموس السماوية، وتخلص أيضاً من فكرة أن للكون حدوداً **طبيعية. لم تُظهر النجوم الثابتة، في نموذج بطليموس، أي تغيير في مواقعها النسبية عندما تدور الأرض حول الشمس.** لذلك، بات من الطبيعي افتراض أن النجوم الثابتة هي أجرام مثل شمسنا لكنها بعيدة جداً. وأثار ذلك مشكلة. أدرك نيوتن أنه وفقاً لنظرية الجاذبية، يجب على النجوم أن تجذب بعضها البعض، لذلك، يبدو أنها من المستحيل أن تظل ساكنة في الكون. وإلا ستتساقط جميعها **في نقطة واحدة؟!**

في رسالة له عام ١٦٩١ إلى ريتشارد بنتلي، أحد المفكرين البارزين في زمانه، جادل نيوتن بأن انهيار النجوم على بعضها سيحدث فعلاً إن كان هناك عدد محدود من النجوم. لكنه، من ناحية أخرى، قال أنه لو كان هناك عدد لا محدود من النجوم وموزعة بشكل متساوٍ في الفضاء اللامتناهي، فلن يحدث ذلك الا**نهيار لأنه لن يكون هناك نقطة مركزية لتقع عليها كل النجوم.** هذه الحجة هي مثال للمأزق الذي يواجهه المرء عندما يتحدث أحدهم عن فكرة **اللانهاية.**

في الكون اللامتناهي، يمكن اعتبار أن كل نقطة تمثل المركز، لأنه كل نقطة ستكون محاطة **بعدد لا نهائي من النجوم حولها.** الفكرة الصحيحة، التي لم تُفهم إلا بعد مرور زمن طويل، كانت تكمن في النظر إلى الحالة المحدودة بحيث تتساقط النجوم على نفسها. قد يتسائل المرء كيف ستتغير الأمور لو أضفنا المزيد من النجوم الموزعة بشكل متساوٍ خارج تلك المنطقة. بحسب قانون نيوتن، فإن النجوم المضافة لن تُحدث أيَ فرق على الإطلاق بالنسبة للنجوم الأصلية، وبالتالي ستنهار على بعضها في أسرع وقتٍ ممكن. يمكننا إضافة عدد ما نشاء من النجوم، كلها ستنهار على نفسها دائماً. نحن نعلم اليوم أنه من المستحيل أن يكون لدينا نموج للكون بحيث يكون ساكناً ولا متناهياً **والجاذبية فقط تجذب ولا تطرد!**

إنه حقاً لأمر مثير للاهتمام أن لم يقترح أي شخص أن الكون آخذ في التمدد أو الا**نكماش قبل القرن العشرين.** كان من المقبول عموماً أن الكون أزلي وفي حالة غير متغيرة أو أنه قد تم خلقه في وقت ما في الماضي البعيد لكن بنفس شكله الحالي تقريباً مباشرة. قد يرجع ذلك إلى ميل الناس للا**عتقاد بالحقائق الأبدية، وكذلك شعورهم بالراحة أنه رغم كونهم يكبرون ويموتون، فإن الكون لا يتغير.**

حتى أولئك الذين أدركوا أن نظرية نيوتن للجاذبية قد بينت أن الكون لا يمكن أن يكون ساكناً لم يعتقدوا أنه من الممكن أن يتوسع. بدلاً من ذلك، حاولوا تعديل النظرية باقتراح يجعل الجاذبية تعمل بشكل طارد في المسافات الكبيرة جداً. وهذا لم يؤثر كثيراً على توقعاتهم بشأن حركات الكواكب القريبة. لكنه سيسمح للتوزيع اللانهائي للنجوم بأن يظل في حالة توازن؛ حيث تتوازن النجوم القريبة من بعضها بسبب قوة الجاذبية بينهما مع القوى الطاردة التي تعمل في عكس اتجاه الجذب والقادمة **من النجوم البعيدة.**

ورغم ذلك، فإننا نعتقد الآن أن وجود مثل هذا التوازن سيكون غير مستقر. فلو كانت هناك نجوم قريبة بشكل كافٍ من بعضها فإن قوى الجذب بينها ستكبر وستتغلب على قوى الطرد البعيدة و التي تحاول عمل التوازن. وهذا يعني أن النجوم ستستمر في السقوط نحو **بعضها البعض.** من ناحية أخرى، إذا ابتعدت

النجوم عن بعضها البعض فستتغلب قوى الطرد على قوى الجذب وبالتالي ستتناثر **النجوم بعيداً عن بعضها البعض.**

اعتراض آخر على فكرة الكون الثابت يرجع عادة إلى الفيلسوف الأ**لماني هاينريش أولبرز. في الواقع، أثار معاصرون مختلفون في زمن نيوتن هذه المشكلة، ولم تكن مقالة أولبرز لعام ١٨٢٣ الأولى من نوعها التي احتوت على حجج معقولة حول هذا الموضوع.** بيد أن اهتمامه الواسع بالمسألة جعل اسمه مرتبطاً بشكل وثيق **بهذه الحجة.** تكمن الصعوبة في أن كل نقطة أو خط فارغ في الكون المستقر سيكون فيها نجم ما. وبذلك يجب أن تكون سماء الليل مضيئة تماماً **كما هو الحال في النهار!** لحل هذه المعضلة، اقترح أولبرز أن الضوء القادم من النجوم البعيدة سيخفت بسبب امتصاصه من قبل مادة ما تقع بيننا وبين ضوء النجوم. لكن مع ذلك، ستسخن تلك المادة ومن ثم سترسل هي نفسها ضوءاً **كبقية النجوم.**

والطريقة الوحيدة لتجنب استنتاج أن سماء الليل يجب أن تكون مشرقة مثل سماء النهار هو أن نفترض بأن النجوم لم تكن مشرقة منذ الأزل**، ولكنها اشتعلت في وقت ما من الماضي.** في هذه الحالة، لن تمتلك المادة الواقعة بيننا وبين النجوم البعيدة الوقت الكافي لتسخن وتطلق ضوءاً، أو أن الضوء القادم من تلك **النجوم البعيدة لم يصلنا بعد.** ولكن هذا الحل سيفتح علينا معضلة أخرى؛ فما الذي جعل النجوم تشتعل عند وقت معين دون غيره**؟!**

بداية الكون

مما لاشك فيه أن مسألة بداية الكون قد نوقشت منذ فترة طويلة جداً.وفقاً لعدد من علماء الكون القدماء في التقليد اليهودي/ المسيحي/ الإسلامي، بدأ الكون في لحظة زمنية محددة في ماضٍ ليس ببعيد جداً. أحد أسباب طرح هذه الفكرة هو الشعور بضرورة **أن يكون هناك مسبب لوجود ونشوء الكون.**

حجة أخرى قد طُرحت بواسطة القديس أوغسطين **في كتابه** {مدينة **الله**}. فقد أشار إلى أن الحضارة تتقدم، ونحن نتذكر القدماء الذين دفعوا الحضارة **للأمام. هكذا هو حال الإنسان وربما حتى الكون، ليس لهم وجود أزلي.** لو كنا أزليين فعلاً لكنا اليوم أكثر تقدماً **في حضارتنا مما نحن عليه.**

قَبِل القديس أوغسطين التاريخ الموجود في سفر التكوين والذي ينص على أن الكون قد بدأ حوالي قبل ٥٠٠٠ سنة قبل الميلاد. من الملفت للنظر أن هذا التاريخ ليس أقدم حتى من حقبة العصر الجليدي، حوالي ١٠٠٠٠ سنة قبل

الميلاد، وهو تاريخ بداية الحضارة فعلياً. من ناحية أخرى، لم يقبل أرسطو ولا جميع الفلاسفة اليونانيين الآخرين، فكرة أن للكون بداية لأنها تتطلب تدخلاً إلهياً. لقد آمنوا أن الجنس البشري والعالم كله كانوا موجودين على الدوام وسيظلون هكذا إلى الأبد. لقد رأى فلاسفة اليونان حجة أوغسطين الخاصة بتقدم الحضارة، وردوا عليها بقولهم أن هناك فيضانات دورية أو كوارث أخرى تحدث مراراً وتكراراً مما يجعل الجنس البشري يعود دائماً إلى نقطة بداية الحضارة.

سواء آمن الناس بكون ثابت أو غير ثابت، فإن السؤال الذي يطرح نفسه هو: هل موضوع بداية الكون برمته ينتمي لما وراء الفيزياء (الميتافيزيقا) وعلم اللاهوت؟ يمكن للمرء أن ينظر في كلتى تلك الحالتين؛ فإما أن الكون أزلي أو أنه قد تم دفعه للحركة في لحظة زمنية معينة بحيث يبدو وكأنه كان أزلياً. لكن حدث في عام ١٩٢٩ أن اكتشف ادوين هابل أن النجوم البعيدة تهرب بسرعة كبيرة عنا. بكلمات أخرى، الكون يتمدد. وهذا يعني أن الأجرام السماوية كانت قريبة جداً من بعضها البعض فيما مضى. في الواقع، بدى أنه في وقت ما في الماضي قبل حوالي عشرة إلى عشرين ألف مليون سنة كانت كل الأجرام السماوية تقع في نقطة واحدة.

جلب هذا الاكتشاف، أخيراً، مسألة بداية الكون إلى حقل العلم. تشير ملاحظات هابل إلى أن هناك وقت ما يسمى الانفجار العظيم بحيث كان الكون لا متناهي الصغر، وبالتالي، لا متناهي الكثافة. لو كانت هناك أحداث قبل زمن الإنفجار العظيم، فإنها لا يمكن أن تؤثر على ما يحدث في الوقت الحاضر. ويمكن تجاهل وجودها لأنه لن يكون لها أي تأثير على أرصادنا.

قد يقول أحدهم إذا بدأ الوقت مع الانفجار العظيم فلا يمكن تعريف الوقت قبل تلك اللحظة. ينبغي التأكيد على أن بداية الزمن مع الإنفجار العظيم تختلف بشكل كلي عن بداية الزمن المعروفة لدينا. في كون ثابت، سيكون الزمن بمثابة شيئ قد تم إضافته بواسطة كيان خارج الكون. فلن تكون هناك ضرورة فيزيائية لبداية الكون. فبإمكانك تصور إله خلق الكون حرفياً في لحظة ما من الماضي. لكن من ناحية أخرى، الكون يتمدد، وبالتالي قد تكون هناك أسباب فيزيائية حول بداية الكون. مازال بالإمكان مع ذلك أن يتصور المرء بأن هناك إلهاً قد خلق الكون في لحظة الانفجار العظيم. ومن الممكن أنه قد خلق الكون قبل الانفجار العظيم وجعله يبدو لنا وكأنه بدأ بانفجار عظيم. لكنه سيكون الأمر بلا معنى أن نفترض أن الكون قد تم خلقه قبل الانفجار العظيم. الكون المتمدد لا ينفي وجود خالق، ولكن يضع حدوداً عليه عندما قام بعمله في الخلق!

المحاضرة الثانية

الكون المتوسع

إن شمسنا والنجوم القريبة منها ما هي إلا جزء من مجموعة واسعة من النجوم تُسمى درب التبانة. لفترة طويلة كان الاعتقاد السائد أن درب التبانة هي المجرة الوحيدة في الكون كله. لكن فقط في عام ١٩٢٤ أظهر الفلكي الأمريكي ادوين هابل أن مجرتنا ليست الوحيدة في الكون. في الواقع، كان هناك عدد مهول من المجرات مع وجود فراغات شاسعة بينها. ومن أجل إثبات ذلك كان هابل بحاجة إلى تحديد المسافات بين تلك المجرات. يمكننا تحديد مسافة النجوم القريبة منا عن طريق ملاحظة تغير موقعها وذلك عندما تدور الأرض حول الشمس. لكن تلك المجرات التي تبعد عنا مسافات شاسعة، على عكس النجوم القريبة، لا تظهر أنها تغير مواقعها أثناء دوران الأرض حول الشمس. لذلك، اضطر هابل إلى استخدام طُرق غير مباشرة لقياس المسافات.

إن القدر الظاهري [2] للنجم يعتمد على عاملين: ضياء النجم [3] وبعده عنا. بالنسبة للنجوم القريبة نستطيع قياس كلاً من سطوعها الظاهري وبعدها عنا، وبالتالي نستطيع تحديد درجة لمعانها. على عكس ذلك، إذا كنا نعرف قيمة لمعان النجوم في المجرات الأخرى، فإننا سنكون قادرين على تحديد مسافاتها من خلال قياس سطوعها الظاهري. جادل هابل أن هناك أنواعاً معينة من النجوم قريبة منا تمتلك نفس درجة اللمعان. لذلك، لو وجدنا مثل هذه النجوم في مجرة أخرى، فيمكننا افتراض أن لديهما نفس درجة اللمعان. وبالتالي

نستطيع حساب المسافة إلى تلك المجرة. إذا استطعنا فعل ذلك لعدد من النجوم في نفس المجرة، وأعطتنا حساباتنا نفس المسافة دائماً، فبإمكاننا أن نثق بتقديراتنا للمسافات. بهذه الطريقة، استطاع ادوين هابل تحديد المسافات إلى تسعة مجرات مختلفة.

نعلم اليوم أن مجرتنا ليست سوى واحدة من عدة مئات آلاف الملايين من المجرات الأخرى التي يمكن مشاهدتها بالتلسكوبات الحديثة، وكل مجرة تحتوي على ما يقارب من مائة ألف مليون نجم. نحن نعيش في مجرة يبلغ قطرها مئة ألف سنة ضوئية [4] وتدور ببطئ؛ تدور النجوم التي تقع في ذراع المجرة الحلزوني حول مركز المجرة حوالي مرة واحدة كل مائة مليون سنة. شمسنا هي مجرد نجم عادي أصفر ومتوسط الحجم، تقع بالقرب من الحافة الخارجية لأحد أذرع المجرة. لقد قطعنا بالفعل شوطاً طويلاً منذ عهد أرسطو وبطليموس، عندما ظننا أن الأرض هي مركز الكون!

تقع النجوم على بعد شاسع عنا بحيث تظهر لنا وكأنها نقطة صغيرة من الضوء. وبالتالي لا يمكننا تحديد حجمها أو شكلها. فكيف يمكننا إذن الحديث عن نجوم مختلفة في أنواعها؟ بالنسبة للغالبية العظمى من النجوم، هناك علامة مميزة واحدة فقط يمكن أن نلاحظها وهي لون الضوء القادم من النجم. لقد اكتشف نيوتن أن الضوء عند تمريره داخل منشور سيتحلل إلى مركباته المختلفة من الألوان (الطيف) كما نراه في قوس قزح. بالمثل، لو تم تركيز تلسكوب ناحية نجم معين، يمكن ملاحظة طيف ضوء ذلك النجم أو تلك المجرة. النجوم المختلفة لها أطياف مختلفة، ولكن السطوع النسبي للألوان المختلفة دائماً ما سيكون بالضبط كما نتوقع أن نجده في ضوء منبعث بواسطة جرم حار يتوهج احمراراً. وهذا يعني أنه باستطاعتنا أن نحدد درجة حرارة النجم من طيف النجم [5]. علاوة على ذلك، نجد أن بعض ألوان الطيف المميزة جداً مفقودة في بعض النجوم، وهذه الألوان المفقودة قد تختلف من نجم إلى نجم آخر. نحن نعلم أن كل عنصر كيميائي يمتص مجموعة مميزة من ألوان محددة جداً. وهكذا، من خلال مطابقة تلك الخطوط المفقودة من الطيف النجمي، يمكننا بالضبط تحديد العناصر الموجودة في الغلاف الجوي للنجم [6].

في عشرينيات القرن العشرين، عندما بدأ علماء الفلك في النظر إلى أطياف النجوم في المجرات الأخرى، وجدوا شيئاً أكثر غرابة: كان هناك فقد في نفس الألوان المميزة للنجوم التي تقع داخل مجرتنا، ولكن كان طيف تلك النجوم التي تقع في المجرات الأخرى ينزاح نحو اللون الأحمر من الطيف. كان التفسير الوحيد المعقول هو أن تلك المجرات تبتعد هاربة منا، حيث كان تردد [7] موجات الضوء يتناقص أو ينزاح ناحية الأحمر بواسطة تأثير دوبلر. استمع

إلى سيارة تمر على الطريق، إذا اقتربت منك، ستسمع صوتاً عالياً قادماً من محركها، وهو ما نطلق عليه تردداً عالياً في موجات الصوت، وعندما تبتعد عنك السيارة، ستقل حدة صوت المحرك، وهو ما نطلق عليه تردداً منخفضاً في موجات الصوت. سلوك الضوء وهو موجات كهرومغناطيسية مشابه تماماً لذلك. في الواقع، لقد استفادت الشرطة من تأثير دوبلر لقياس سرعة السيارات المسرعة بواسطة قياس تردد موجات الضوء الراديويه المنعكسة من السيارات.

في السنوات التي تلت برهانه لوجود مجرات أُخرى، أمضى هابل وقته في دراسة مسافاتها ومراقبة أطيافها. توقع أغلب الناس في ذاك الوقت أن المجرات تتحرك بشكل عشوائى تماماً، وبالتالي توقعوا وجود عدد من المجرات ينزاح طيفها ناحية الأزرق [8] بنفس عدد ما وجدوا من مجرات ينزاح طيفها ناحية الأحمر. ولكن كانت المفاجأة أن أطياف جميع المجرات ينزاح ناحية الأحمر. كل مجرة منفردة تهرب منا. وما هو مفاجئ أكثر من ذلك تلك النتيجة التي نشرها هابل عام ١٩٢٩: قيمة الانزياح ناحية الأحمر ليست عشوائية، بل تتناسب مع بعد المجرة عنا. أو، بكلمات أخرى، كلما كانت المجرة أبعد، كلما كانت أسرع في الهروب عنا. وهذا يعني أن الكون غير ثابت، كما ظن الجميع سابقاً، بل إنه في الواقع يتمدد. المسافة بين المجرات تزداد مع مرور الوقت.

إن اكتشاف حقيقة تمدد الكون يعتبر واحد من أعظم الثورات الفكرية العظيمة في القرن العشرين. بعد فوات الآوان، من السهل أن نتسائل لماذا لم يفكر بها أحد من قبل. نيوتن وغيره أدركوا أن الكون المستقر سينهار بسرعة تحت تأثير جاذبية الأجرام المختلفة. لكن لنفرض أنهم قالوا أن الكون يتمدد بدلاً من كونه ساكناً. إذا كان يتمدد ببطء، فإن قوة الجاذبية ستجعله في النهاية يتوقف عن التمدد ويبدأ بالانكماش. لكن، لو كان الكون يتمدد بمعدل أعلى من المعدل الحرج، فلن تكون الجاذبية قوية بما فيه الكفاية لإيقاف تمدده، وبالتالي سيواصل تمدده إلى الأبد. يشبه ذلك إطلاق صاروخ من الأرض باتجاه الأعلى، إذا كان الصاروخ يمتلك سرعة ضعيفة، ستوقفه الجاذبية في نهاية المطاف وبالتالي سيسقط ناحية الأرض. من ناحية أُخرى، لو كانت سرعة الصاروخ أعلى من سرعة الإفلات [9]، والتي تساوي حوالي سبعة أميال في الثانية، فلن تكون الجاذبية قادرة على إيقافه، ومن ثم سيستمر في الهروب من الأرض إلى الأبد.

كان من الممكن توقع هذا السلوك من الكون من نظرية نيوتن في الجاذبية في أي وقت في القرن التاسع عشر، الثامن عشر، أو حتى في أواخر القرن السابع عشر. ولكن استمر الإيمان بالكون الثابت حتى أوائل القرن العشرين.

حتى عندما انتهى آينشتاين من صياغة النسبية العامة عام ١٩١٥، كان متأكداً أن الكون يجب أن يكون ساكناً. لذلك قام بتعديل نظريته لجعل ذلك ممكناً، حيث أدخل ما يسمى الثابت الكوني في معادلاته. وكان ذلك بمثابة إدخال قوة "جاذبية مضادة"، وهي على عكس كل القوى الفيزيائية الأخرى، ليس لها مصدر معين، ولكنها قد بُنيت في صلب نسيج الزمكان. ثابته الكوني أعطى نزعة للزمكان لكي يتمدد، وهذا التمدد سيتوازن بالضبط مع قوة الانكماش الناتجة من كتل الأجرام، وبالتالي ستُلغي القوتان المتعاكستان بعضهما البعض والنتيجة هو كون مستقر.

إلا رجل واحد، على ما يبدو، كان على استعداد لأخذ النسبية العامة كما هي على ظاهرها. ففي حين كان آينشتاين وغيره من الفيزيائيين يبحثون عن طرق لتجنب تنبؤ النسبية العامة بكون غير مستقر، كان الفيزيائي الروسي آلكسندر فريدمان يتفنن في شرح ذلك التنبؤ في النسبية العامة.

نماذج فريدمان

إن معادلات النسبية العامة [10] والتي تُحدد كيف يتطور الكون مع مرور الزمن، مُعقدة للغاية لحلها بشكل تفصيلي. لذلك قام فريدمان بوضع افتراضين بسيطين جداً حول الكون: يبدو الكون أنه **متناظر تماماً من أي جهة ننظر إليه، وهذا الفرض ساري من أي مكان نراقب فيه الكون.** انطلاقاً من أُسس النسبية العامة ومن هاتين الفرضيتين، بين فريدمان أنه لا يمكن توقع أن يكون الكون ثابتاً. في الحقيقة، عام ١٩٢٢، (قبل عدة سنوات من اكتشاف هابل)، **تنبأ فريدمان بالضبط بما وجده هابل.**

من الواضح أن فرضية تناظر الكون (أي أن له نفس الشكل في كل الاتجاهات) ليست صحيحة تماماً لو نظرنا إلى **الواقع.** فعلى سبيل المثال، النجوم الأخرى في مجرتنا تشكل خيطاً مميزاً **من الضوء يقطع سماء الليل يسمى درب التبانة.** لكن لو نظرت إلى المجرات البعيدة، سترى أنها موزعة بشكل أو بآخر بطريقة متساوية تماماً في كل الجهات. وبالتالي سيبدو أن الكون، تقريباً، له نفس الشكل على المقياس الواسع جداً، بدلاً من المقياس المحلي **للمسافات بين المجرات.**

لفترة طويلة كانت تلك المبررات (أي النظر للكون على المستوى المحلي) كافية لاعتبار أن فرضية فريدمان تقريب سيئ للكون الحقيقي. لكن في الآونة

الأخيرة كشف حادثاً محظوظاً أن فرض فريدمان يُعطي وصفاً دقيقاً لافتاً للنظر لكوننا. ففي عام ١٩٦٥، كان هناك فيزيائيان أمريكيان، آرنو بنزياس و روبرت ويلسون، يعملان في مختبرات بيل في ولاية نيو جيرسي على تصميم جهاز لاقط للأشعة المايكروية [11] وذلك بهدف التواصل مع الأقمار الصناعية. كانا قلقين من ملاحظة أن جهازهما يلتقط مزيداً من الضجيج الإشعاعي أكثر مما ينبغي له، وهذا الضجيج يبدو **أنه لا يأتي من اتجاه معين.** ظنا في البداية أن سبب ذلك هو روث الحمام، وربما أعطال **أخرى محتملة. ولكن سرعان ما تم استبعاد ذلك.** كانا يعرفان أن أي ضجيج إشعاعي قادم من داخل الغلاف الجوي سيكون أقوى إذا لم يكن الكاشف في وضع مستقيم في اتجاه السماء، وذلك لأن الغلاف الجوي يصبح أكثر سماكة عند النظر إليه بزاوية معينة مقارنة بالنظر إليه بشكل عمودي.

كان للضجيج الإشعاعي نفس القيمة لأي تجاه يشير له اللاقط الراديوي، لذلك يجب أن يكون مصدره قادماً من خارج الغلاف الجوي. أيضاً كانت قيمته ثابتة **في الليل والنهار طوال العام، رغم أن الأرض تدور حول محورها وحول الشمس.** لقد أثبت ذلك قطعاً أن الإشعاع قادم من خارج المجموعة الشمسية، بل من خارج المجرة برمتها، وإلا لا**ختلفت قيمته كلما غيرت الأرض من اتجاه اللاقط.**

في الحقيقة، نحن نعلم أن هذا الإشعاع قد سافر إلينا عبر معظم الكون المرئي [12]. وطالما أن له نفس القيمة في اتجاهات مختلفة، فإن الكون يجب أن يكون هو نفسه في كل اتجاه، على الأقل على المدى الواسع. نحن ندرك الآن أنه في أي اتجاه ننظر إليه فإن قيمة هذا الإشعاع لا تتغير بأكثر من **جزء واحد من عشرة الآف جزء.** لذلك عثر بنزياس و ويلسون، **عن طريق الصدفة، على تأكيد استثنائي ودقيق لفرضية فريدمان الأولى.**

في نفس الفترة تقريباً كان هناك اثنان من علماء الفيزياء الأمريكيين في جامعة برينستون القريبة، بوب ديك و جيم بيبلز، كانوا مهتمين أيضاً بموضوع الأشعة الراديوية. حيث عملا على فكرة قد تم اقتراحها بواسطة جوروج غاموف، تلميذ آلكسندر فريدمان، تقتضي أن الكون المبكر يجب أن يكون حاراً وكثيفاً جداً، متوهجاً ساخن البياض. جادل كل من ديك وبيبلز بأنه مازال بإمكاننا رؤية ذلك التوهج، لأن الضوء القادم من أجزاء بعيدة جداً من الكون المبكر لن يصلنا إلا الآن. لكن هذا التوهج الشديد يجب أن ينزاح ناحية اللون الأحمر بسبب تمدد الكون حيث يبدو لنا الآن كإشعاع مايكروي. سمع بنزياس و ويلسون عن أفكار ديك و بيبلز وبحثهما عن هذا الإشعاع المتبقي من الانفجار العظيم وأدركا أنهما قد وجداه **بالفعل.** لذلك حصل بنزياس و ويلسون على

جائزة نوبل في الفيزياء عام ١٩٧٨، وبالتأكيد لم يكن ذلك سهلاً على ديك و بيبلز.

الآن، ولأول وهلة، يبدو أن هذا الدليل على أن الكون يبدو له نفس الشكل أينما نظرنا إليه، يوحي بأن هناك شيئاً مميزاً **حول مكاننا في الكون. على وجه الخصوص، عندما نلاحظ أن كل المجرات تتحرك مبتعدة عنا، فهذا يعني أننا نقع في مركز الكون.** لكن، هناك تفسير بديل: سيبدو الكون وكأن له نفس الشكل في أي اتجاه تراه **عندما تكون في مجرة أخرى. وهذا، كما رأينا من قبل، هو افتراض فريدمان الثاني. ليس لدينا دليل علمي حول صحة أو بطلان هذه الفرضية.** إننا نؤمن بها على أساس تواضعنا. سيكون من الرائع جداً أن يكون للكون نفس الشكل في كل اتجاه من **حولنا، وليس فقط حول نقاط معينة في الكون. في نموذج فريدمان، كل المجرات تتحرك مبتعدة عن بعضها البعض.** يشبه ذلك إلى حد كبير نفخ بالونة عليها نقاط حبر متفرقة. مع تمدد البالونة ستزداد المسافة بين نقاط الحبر، لكن لا توجد نقطة حبر يمكن القول بأنها **هي مركز التوسع.** بالإضافة إلى ذلك، كلما كانت المسافة بين البقع **كبيرة، كلما زادت سرعة ابتعادها عن بعضها البعض. بالمثل، في نموذج فريدمان تزداد سرعة الابتعاد بين مجرتين مع تزايد المسافة بينهما.** لذلك من المتوقع أن يزداد الانزياح ناحية الأحمر طردياً مع المسافة بيننا، وهو بالضبط ما وجده **هابل.**

رغم نجاح نموذجه وتنبئه بملاحظات هابل، ظل عمل فريدمان غير معروف إلى حد كبير في الغرب. ولم يُعرف إلا بعد اكتشاف نماذج مماثلة في عام ١٩٣٥ على يد الفيزيائي الأمريكي هوارد روبرتسون والعالم الرياضي البريطاني آرثر ووكر، استجابة لا**كتشاف هابل على توسع الكون الموحد.**

على الرغم من أن فريدمان وجد واحدة فقط، إلا أن هناك في الواقع ثلاثة نماذج مختلفة تُطيع فرضي فريدمان الأساسيين. في الحل الأول، الذي وجده فريدمان؛ يتوسع الكون ببطء كاف بحيث تعمل الجاذبية بين المجرات المختلفة على إبطاء التمدد و**إيقافه في نهاية المطاف. ومن ثم تبدأ المجرات في الحركة ناحية بعضها البعض مما يعني انكماش الكون.** المسافة بين أي مجرتين متجاورتين تبدأ من الصفر، ثم تزيد إلى **أقصى حد، ثم تتقلص مرة أخرى إلى الصفر.**

في الحل الثاني، يتمدد الكون بسرعة كبيرة جداً بحيث لا يمكن أن توقفه الجاذبية، رغم أنها تبطئه قليلاً. المسافة بين المجرات المتجاورة في هذا النموذج تبدأ من الصفر، ثم تبتعد عن بعضها البعض وفي نهاية المطاف تبقى مبتعدة عن بعضها **بسرعة ثابتة.**

أخيراً، في الحل الثالث؛ يتوسع الكون بسرعة كافية لتجنب الانكماش على نفسه. في هذا الحل تبدأ المسافة بين المجرات أيضاً من الصفر، ومن ثم تزداد **إلى الأبد. ومع ذلك، فإن سرعة المجرات تصغر أكثر فأكثر، لكن لن تبلغ الصفر أبداً.**

الميزة الملحوظة في حل فريدمان الأول هو أن الكون متناهٍ في الفضاء، لكن دون أي يملك أي حدود. الجاذبية قوية بحيث أنها قادرة على ثني **الفضاء على نفسه، تماماً مثل سطح الأرض.** لو مشى شخص ما على سطح الأرض في اتجاه معين فلن يصطدم بحاجز أو يسقط عند حافة ما**، بل سيعود في نهاية المطاف إلى النقطة التي انطلق منها.** الفضاء، في نموذج فريدمان الأول، هو تماماً مثل سطح الأرض، لكن مع وجود ثلاثة أبعاد بدلاً من بعدين اثنين**. البعد الرابع (الزمن) هو أيضاً محدود في المدى، لكنه مثل خط مع نهايتين أو حدين، بداية ونهاية.** سنرى لاحقاً بأن محاولة جمع النسبية العامة مع مبدأ عدم اليقين في ميكانيكا الكم، تعطي إمكانية أن الزمان والمكان قد يكونان محدودين دون أي حواف أو حدود. فكرة أن المرء يعود للنقطة التي انطلق منها في الكون عندما يسير في خط معين هي فكرة جيدة للخيال العلمي، لكن ليس لها أهمية عملية كبيرة لأنه من الممكن أن نبين حتمية انهيار الكون على نفسه قبل إ**تمام هذه الرحلة.** عليك أن تقوم بهذه الرحلة بسرعة أعلى من سرعة الضوء قبل أن ينهار الكون على نفسه، وهذا غير مس**موح به.**

لكن أي واحد من نماذج فريدمان يصف الكون حقاً؟ هل سيتوقف الكون في نهاية المطاف عن تمدده ويبدأ في الانكماش، أم سيتمدد إلى الأبد؟ إجابة هذا السؤال تحتاج إلى معرفة معدل تمدد الكون **الحالي ومتوسط الكثافة الحالية.** فإذا كانت الكثافة أقل من قيمة حرجة معينة، يحددها معدل التوسع، **ستكون الجاذبية ضعيفة جداً لإيقاف التمدد.** أما إذا كانت الكثافة أعلى من القيمة الحرجة، فإن الجاذبية ستوقف تمدد الكون في وقت ما في المستقبل وتسبب إ**عادة انكماشه.**

يمكننا تحديد معدل توسع الكون، بدقة ممتازة، بقياس سرعة ابتعاد المجرات عنا، وذلك باستخدا**م تأثير دوبلر.** لكن مع ذلك، لا نعرف بالضبط بُ**عد المجرات عنا لأننا لا نستطيع قياسها إلا بشكل غير مباشر.** لذلك كل ما نعرفه هو أن الكون يتوسع بنسبة تتراوح ما بين ٥ إلى ١٠ في المائة كل ألف سنة [13]. ومع ذلك، فإن عدم يقيننا حول متوسط الكثافة الحالية للكون كبير.

لو أضفنا كتل كل النجوم التي نراها في مجرتنا والمجرات الأخرى، فإن المجموع أقل من واحد بالمائة **من الكمية المطلوبة لإيقاف تمدد الكون، حتى في أقل تقدير لمعدل التمدد.** ولكننا نعلم أن مجرتنا والمجرات الأخرى يجب

أن تحتوي على كمية كبيرة من المادة المظلمة [14] التي لا نستطيع رؤيتها مباشرة، ولكننا ندرك أنها يجب أن تكون موجودة بسبب تأثير جاذبيتها على مدارات النجوم والغاز في المجرات. وعلاوة على ذلك، توجد معظم المجرات على هيئة عناقيد [15]، وبالتالي استنتاج وجود مادة مظلمة أكثر بين المجرات في هذه العناقيد عن طريق تأثيرها على حركة **هذه المجرات.** عندما نضيف كل هذه المادة المظلمة، فإننا مازلنا نحصل فقط على واحد على عشرة من الكمية المطلوبة لإيقاف **تمدد الكون.** لذلك، قد يكون هناك شكل آخر من المادة التي لم نكتشفها بعد والتي ربما سترفع من متوسط كثافة الكون إلى القيمة الحرجة اللازمة لوقف تمدده.

تشير الأدلة الحالية إلى أن الكون قد يتوسع إلى الأبد. ولكن لا ضمان لذلك. كل ما يمكن أن نكون متأكدين منه فعلاً هو أنه حتى لو عاد الكون للانكماش، فلن يكون ذلك إلا في غضون عشرة آلاف مليون سنة، **على الأقل، منذ أن انطلق في توسعه الفعلي.** ولا ينبغي أن يقلقنا ذلك، فإن لم يكن لدينا مستعمرات خارج النظام الشمسي، فإن البشرية **ستكون قد انقرضت منذ وقت طويل، منذ أن انطفأت شمسنا وماتت.**

الإنفجار العظيم

كل حلول فريدمان لها ميزة واضحة، وهو أنه في وقت ما في الماضي، قبل عشرة إلى عشرين ألف مليون سنة [16]، كانت المسافة بين المجرات المتجاورة تساوي صفر. تلك اللحظة، **التي نسميها الإنفجار العظيم، كانت كثافة الكون وانحناء الزمكان لا متناهيين.** وهذا يعني أن النظرية النسبية العامة، والتي تستند عليها حلول فريدمان تتنبأ بوجود فردانية [17] **في الكون.**

إن كل نظرياتنا في العلوم تُصاغ على افتراض أن الزمكان أملس ومسطح تقريباً، لكن كل هذا ينهار عند فردانية الإنفجار العظيم، حيث يصبح انحناء الزمكان لا متناهٍ. وهذا يعني أنه حتى لو كانت هناك أحداث قبل الانفجار العظيم، فلا يمكن استخدامها لتحديد ما سيحدث بعد ذلك، لأن التنبؤ سينهار عند الانفجار العظيم نفسه. في المقابل، لو كنا نعرف فقط ما حدث منذ الانفجار العظيم، فلن نتمكن من معرفة ما حدث قبل الانفجار. وبقدر ما نشعر بالقلق، فإن الأحداث التي تقع قبل الانفجار العظيم لا يمكن أن تترتب عليها أي عواقب، لذلك يجب ألا تشكل أي جزء من النموذج العلمي للكون، ويجب أن نجتذها من النموذج ونُقر بأن الزمن له بداية مع الا**نفجار العظيم.**

كثير من الناس لا يحبون فكرة أن للزمن بداية، ربما لأنه يعارض فكرة التدخل الإلهي. (الكنيسة الكاثوليكية، من ناحية أخرى، قد تبنت الانفجار العظيم، **وفي عام ١٩٥١ أعلنت رسمياً أنه يوافق الكتاب المقدس**). كان هناك العديد من المحاولات لتجنب استنتاج أن الكون قد بدأ ب**انفجار عظيم.** وكان الاقتراح الذي حصل على أعلى **تأييد يسمى (نظرية الحالة المستقرة)**. تم اقتراح هذه النظرية عام ١٩٤٨ من قبل اثنين من اللاجئين من النمسا المحتلة من قبل **النازيين، هيرمان بوندي وتوماس غولد، مع البريطاني فريد هويل، الذي كان يعمل معهم على تطوير الرادار خلال فترة الحرب. كانت الفكرة كالتالي؛ عندما تبتعد المجرات عن بعضها البعض، تتشكل مجرات جديد في الفراغات المتروكة من مادة جديدة تُخلق باستمرار.** لذلك سيبدو الكون متشابهاً **في جميع الأزمنة وفي جميع نقاط الفضاء.**

لقد تطلبت نظرية الحالة المستقرة تعديل النسبية العامة للسماح بالخلق المستمر للمادة، ولكن المعدل المطلوب كان منخفضاً جداً، حوالي جسيم واحد لكل كيلومتر **مكعب في السنة، وهذا لا يتعارض مع التجربة.** كانت نظرية علمية جيدة، بمعنى أنها بسيطة، وتُعطي تنبؤات محددة يمكن اختبارها عن طريق الملاحظة. أحد هذه التنبؤات أن عدد المجرات أو الأجرام المماثلة في أي حجم معين في الفضاء يجب أن يكون هو نفسه أينما ومتى نظرنا إلى **الكون.**

في أواخر الخمسينيات وبداية الستينيات من القرن العشرين، أُجريت دراسة، في كامبريدج، لمسح مصادر الموجات الراديوية في الفضاء الخارجي من قبل علماء فلك بقيادة مارتن ريل. أظهرت مجموعة كامبريدج أن معظم هذه المصادر الراديوية يجب أن تقع خارج مجرتنا، وأن هناك مصادراً **أكثر ضعفاً من تلك الأقوى. فسروا ذلك بأن المصادر الضعيفة يجب أن تقع على مسافة أبعد والقوية على مسافة أقرب.** ثم بدا أن هناك عدداً **أقل من المصادر القريبة لكل وحدة حجم في الفضاء مقابل تلك البعيدة.**

كان الممكن أن يعني ذلك أننا نقع في مركز منطقة كبيرة في الكون بحيث تكون هناك **مصادر أقل من أخرى.** بدلاً من ذلك، يمكن أن يعني ذلك أن المصادر كانت أكثر **عدداً في الماضي، في الوقت الذي بدأت فيه الموجات الراديوية في رحلتها إلينا، مقارنة بالحاضر. وكلا التفسيرين يناقضان نظرية الحالة المستقرة.** وعلاوة على ذلك، فإن اكتشاف إشعاع الخلفية الميكروني الكوني من قبل بنزياس و ويلسون **في عام ١٩٦٥ يدل على أن الكون يجب أن يكون أكثر كثافة في الماضي.** لذلك تم هجر **نظرية الحالة المستقرة.**

محاولة أخرى لتجنب استنتاج أنه يجب أن يكون هناك انفجار عظيم، وبالتالي، بداية للزمن، أدلى بها اثنان من العلماء الروس، إفغيني ليفشيتز واسحاق خالاتنيكوف، **في عام ١٩٦٣.** اقترحا أن الانفجار العظيم قد يكون ميزة خاصة لنماذج فريدمان وحدها، والتي قد تكون بعد كل شيئ مجرد تقريبات للكون الحقيقي. ربما، من بين جميع النماذج التي تصف كوننا الحقيقي، فقط نماذج فريدمان هي التي تحتوي على فردانية الا**نفجار العظيم.** في نماذج فريدمان، تتحرك المجرات كلها مبتعدة عن بعضها البعض بشكل مباشر، وعليه لي**س من المستغرب أنه في وقت ما في الماضي كانوا جميعاً في نفس المكان.** لذلك، في الكون الحقيقي، لا تتحرك المجرات مبتعدة بشكل مباشر عن بعضها البعض فقط، بل لديهما **أيضاً سرعات جانبية صغيرة.** لذلك، في الواقع، لا تحتاج المجرات لأن تكون في نفس المكان بالضبط، فقط تحتاج أن تكون **قريبة جداً من بعضها.** ربما، ومن ثم يكون توسع الكون الحالي غير ناتج من الانفجار العظيم، ولكن من مرحلة الانكماش السابقة؛ إذا انهار الكون، فإن الأجسام التي بداخله لا تصطدم كلها، فمن الممكن أنها تحركت للماضي مبتعدة عن بعضها البعض، الأمر الذي أدى إلى التوسع الحالي للكون. فكيف لنا إذن أن نحكم إذا ما كان الكون الحقيقي قد بدأ بانفجار عظيم؟

ما فعله كل من ليفشيتز وخالاتنيكوف هو دراسة نماذج للكون كانت تقريباً مشابهة لنماذج فريدمان لكن مع الأخذ في الاعتبار الحركات الشاذة والعشوائية للمجرات في الكون الحقيقي. وبينا أن هذه النماذج يمكن أن تبدأ بإنفجار **عظيم، رغم أن المجرات لا تتحرك مبتعدة عن بعضها البعض بشكل مباشر.** لكنهما ادعا أن هذا لا يزال ممكناً فقط في بعض النماذج الاستثنائية التي تتحرك فيها كل المجرات في الطريق ال**صحيح.** وجادلا بعدها أنه طالما أن هناك عدداً لا متناهٍ من النماذج الشبيهة بنماذج فريدمان بدون فردانية انفجار عظيم مقابل نموذج واحد فقط يبدأ بانفجار عظيم، فيجب أن نستنتج أنه من المستبعد جداً أن يكون هناك انفجار عظيم. لكنهما أدركا في وقت لاحق، أنه توجد هناك نماذج كثيرة شبيهة بنماذج فريدمان وتحتوي على فردانيات، **وليس من الضروري في هذه النماذج أن تتحرك المجرات بأي طريقة خاصة.** لذلك سحبا اعتراضهما **عام ١٩٧٠.**

كان لعمل ليفشيتز و خالاتنيكوف قيمة كبيرة لأنه أظهر أن الكون يمكن أن يبدأ بفردانية (الانفجار العظيم) إذا كانت النظرية النسبية العامة صحيحة. ومع ذلك، لم تَحل السؤال الحاسم: هل النظرية النسبية العامة تتنبأ بالضرورة بأن كو**ننا يجب أن يكون له انفجار عظيم** (بداية للزمن)؟ الجواب على ذلك جاء من نهج مختلف تماماً بدأه الفيزيائي البريطاني، روجر بنروز، في عام ١٩٦٥. استخدم طريقة تصرف المخاريط الضوئية [18] في النسبية العامة، وحقيقة أن الجاذبية

هي دائماً تجذب، ليبين أن النجم الذي ينهار تحت تأثير جاذبيته سيقع **في منطقة تتقلص حدودها في النهاية إلى الصفر.** وهذا يعني أن كل مادة النجم ستنضغط في منطقة حجمها صفر، وبالتالي ستكون كثافة المادة ومقدار تقوس الزمكان لا متناهيين. بكلمات أخرى، ستتكون فردانية في منطقة ما في الزمكان تُعرف **باسم الثقب الأسود.**

لأول وهلة، لم يكن لنتيجة بنروز أي شيئ يمكن استخدامه للإجابة على سؤال إذا ما كان هناك فردانية انفجار عظيم للكون في الماضي أم لا؟ عندما أنهى بنروز نظريته، كنت طالب أبحاث يبحث بيأس عن مشكلة ما لا**ستكمال رسالة الدكتوراه.** أدركت أنه لو قمت بعكس اتجاه الزمن في نظرية بنروز بحيث يصبح الإنهيار توسع، فإن شروط نظريته ستظل قائمةً، بشرط أن يكون الكون تقريباً مشابه لنماذج فريدمان لكن على المدى الواسع في **الوقت الحاضر.** لقد أظهرت نظرية بنروز أن أي نجم ينهار تحت تأثير ثقله يجب أن ينتهي كفردانية؛ وأظهرت حجة عكس اتجاه الزمن أن أي كون متوسع مثل نموذج فريدمان **يجب أن يبدأ بفردانية.** لأسباب تقنية، تتطلب نظرية بنروز أن يكون الكون لا نهائياً **في الفضاء.** لذلك استطعت استخدامها لإثبات أنه يجب أن تكون هناك فردانية بشرط أن يتمدد الكون بسرعة كبيرة لتجنب الإنهيار مرة أخرى، **لأن نموذج فريدمان كان هو الوحيد اللانهائي في الفضاء.**

خلال السنوات القليلة التي تلت ذلك، طورت تقنيات رياضية لإزالة ذلك وشروط تقنية أخرى من النظريات التي أثبتت أن الفردانيات **يجب أن تقع.** كانت النتيجة النهائية ورقة مشتركة بيني وبين بنروز عام ١٩٧٠، حيث أثبتنا أنه يجب أن تكون هناك فردانية انفجار عظيم بشرط أن تكون النسبية العامة صحيحة وأن الكون يحتوي على مقدار من المادة كالذي **نلاحظه اليوم.** كان هناك الكثير من الاعتراضات على عملنا، جزئياً من الروس، الذين اتبعوا خط الحزب الذي وضعه ليفشيتز وخالاتنيكوف، وجزئياً من الأفراد الذين شعروا بأن فكرة الفردانيات **برمتها كانت بغيضة ومفسدة لجمال نظرية آينشتاين. ومع ذلك، لا يمكن لأحد أن يجادل في نظرية رياضية. لذلك من المقبول عموماً اليوم أن الكون يجب أن تكون له بداية.**

المحاضرة الثالثة

الثقوب السوداء

مصطلح الثقب الأسود هو مصطلح حديث جداً، وقد تم صياغته عام ١٩٦٩ من قبل العالم الأمريكي جون ويلر كوصف تصويري لفكرة تعود لأكثر من مائتي عام **على الأقل. في ذلك الوقت كانت هناك نظريتين حول الضوء.**واحدة تقول بأن الضوء يتكون من جسيمات، وأخرى تقول بأنه عبارة عن موجات. ونحن نعلم اليوم أن كلتا النظريتين صحيحتان. من خلال الطبيعة الموجية/الجسيمية في ميكانيكا الكم، يمكننا اعتبار أن الضوء يتكون على حد سواء من موجات وجسيمات. في ظل نظرية الموجات، لم يكن من الواضح كيف سيتأثر**الضوء بالجاذبية.** ولكن إذا كان الضوء يتكون من جسيمات، فيمكننا تصور أن الضوء سيتأثر بالجاذبية مثل تأثر قذائف المدفع، الصواريخ، والكواكب.

بناءً على هذا الافتراض، كتب دون كامبريدج، جون ميشيل، ورقة في عام ١٧٨٣ إلى مجلة المعاملات الفلسفية للجمعية الملكية [19] في لندن. أشار فيها أن الجرم الضخم والكثيف بما فيه الكفاية **سيكون له مجال جاذبي قوي بحيث لن يستطيع الضوء أن يهرب منه.** أي ضوء منبعث من سطح الجرم **سيتم سحبه مرة أخرى بواسطة جاذبية النجم قبل أن يهرب للخارج.** على الرغم من أننا غير قادرين على رؤية تلك النجوم لأن ضوئها لن يصل إلينا، إلا أنه بإمكاننا الشعور **بقوة جاذبيتها.** هذه الأجرام **هي ما نسميه اليوم الثقوب السوداء لأنها تشبه حفر سوداء في الفضاء.**

بعد بضع سنوات أتى اقتراح مماثل، وعلى ما يبدو بشكل مستقل عن اقتراح ميشيل، على يد العالم الفرنسي الماركيز دي لابلاس. من المثير للدهشة، أنه أدرج الفكرة في الطبعة الأولى والثانية فقط من كتابه "نظام العالم"، وتركها في الطبعات اللاحقة؛ ربما لأنه قرر أن هذه الفكرة مجنونة. في الواقع، تبدو الفكرة غير متسقة لمعاملة الضوء على أساس أنه يشبه قذائف مدفع كما في نظرية نيوتن في الجاذبية وذلك **لأن سرعة الضوء ثابتة.** لو تم إطلاق قذيفة مدفع إلى الأعلى على سطح الأرض ستتباطأ بسبب قوة جاذبية الأرض وفي النهاية ستتوقف وتعود مرة مرة **أخرى إلى الأرض.** لكن فوتون الضوء **(جسيم الضوء)**، من ناحية أخرى، **يجب أن يستمر في الصعود بسرعة ثابتة.** كيف إذن يمكن أن تؤثر الجاذبية النيوتونية على الضوء؟ إن نظرية متسقة حول تأثير الجاذبية على الضوء لم تأت حتى اقترح آينشتاين النظرية النسبية العامة في عام ١٩١٥؛ ومنذ ذلك الحين، استغرق فهم الآثار المترتبة على النجوم الضخمة وقتاً طويلاً بالفعل.

لفهم كيفية تشكل ثقب أسود، نحتاج أولاً لفهم دورة حياة النجم. يتشكل النجم عندما تبدأ سحابة ضخمة من الغاز، معظمها من الهيدروجين، في الانهيارعلى نفسها بسبب قوة الجاذبية. عندما تنكمش تلك السحابة، تتصادم ذرات الغاز مع بعضها البعض أكثر فأكثر وبسرعة أكبر فأكبر وبالتالي تزداد سخونة الغاز. في نهاية المطاف سيكون الغاز ساخناً جداً بحيث إذا اصطدمت ذرات الهيدروجين مع بعضها فلن ترتد عن بعضها البعض، بل ستندمج مع بعضها لتشكل ذرات الهيليوم. الحرارة التي يتم إطلاقها نتيجة هذا التفاعل، والتي تشبه قنبلة هيدروجينية مُسيطر عليها، هي ما تجعل النجوم مشعة. الحرارة الزائدة ستزيد من ضغط الغاز بشكل كافي حتى يحقق التوازن مع **قوة الجاذبية التي تكمش الغاز إلى الداخل.** يشبه ذلك التوازن الحاصل في بالونة بين ضغط الهواء الداخلي، الذي يحاول جعل البالونة تتمدد، والشد على مطاط البالونة، الذي يحاول جعل البالونة **أصغر.**

مثل تلك النجوم ستبقى مستقرة **لفترة طويلة، بسبب التوازن بين الحرارة المندفعة نتيجة التفاعلات النووية مع قوة الجاذبية.** لكن، رغم ذلك، في نهاية المطاف، سيستهلك **النجم الهيدروجين وبقية وقوده النووي.** ومن المفارقة، أن النجم إذا بدأ بوقود أكثر، سيستهلكه بشكل أسرع. يرجع ذلك إلى أنه كلما زادت ضخامة النجم كلما احتاج إلى الحرارة أكثر لتحقيق التوازن **مع قوة الجاذبية. وكلما كان النجم أسخن، كلما كان أسرع في استهلاك وقوده.** لدى **شمسنا من الوقود ما يكفي، تقريباً، لمدة خمسة آلاف مليون سنة قادمة أخرى، ولكن النجوم الضخمة يمكن أن تستهلك وقودها في أقل من مائة مليون سنة، أي أقل بكثير من عمر الكون.** وعندما ينفذ الوقود من النجم،

سيبدأ بالبرود ومن ثم بالانكماش على نفسه. ما يمكن أن يحدث بعد ذلك لم يفُهم إلا في نهاية عشرينيا**ت القرن الماضي.**

في عام ١٩٢٨ كان هناك طالب دراسات عليا هندي يُدعى سوبرامانيان تشاندراسيخار يُبحر إلى انجلترا للدراسة في كامبريدج مع عالم الفلك البريطاني السير آرثر ادينتغون. كان ادينغتون **خبيراً في النظرية النسبية العامة.** هناك قصة تُروى عن صحفي سأل ادينغتون في أوائل عشرينات القرن العشرين أنه سمع أن هناك ثلاثة أشخاص فقط في العالم يفهمون النظرية النسبية العامة. رد ادينغتون "ومن هو الشخص الثالث يا تُرى**؟!**".

خلال رحلته من الهند، ظل تشاندراسيخار يفكر إلى أي حد يمكن أن تبلغ ضخامة النجم ويظل مع ذلك متوازناً مع ق**وة الجاذبية بعد استهلاك وقوده.** كانت الفكرة كالتالي: عندما يصبح النجم صغيراً، تصبح جسيمات مادته قريبة جداً من بعضها البعض. لكن مبدأ باولي في الاستبعاد ينص على أن اثنين من الجسيمات التي تشكل مادة النجم لا يمكن أن يكون لهما بالضبط نفس الموقع **ونفس السرعة.** لذلك يجب أن تكون لجسيمات مادة النجم سرعات مختلفة جداً. وهذا سيجعلها تتحرك مبتعدة عن بعضها البعض، وبالتالي، ستجعل تلك العملية النجم يتمدد. وبذلك يمكن للنجم أن يحافظ على نفسه في دائرة نصف قطرها ثابت عن طريق التوازن الحاصل بين قوة الجاذبية للداخل والطرد الناتج من مبدأ باولي للاستبعاد، بالضبط مثلما **كان هناك توازن في حياة النجم المبكرة بين قوة الجاذبية للداخل وضغط الحرارة للخارج.**

لذلك أدرك تشاندراسيخار أن هناك حداً للتنافر الذي يمكن أن يوفره مبدأ الاستبعاد. تضع النظرية النسبية حداً لفرق السرعات بين جسيمات مادة الجسم مقارنة بسرعة الضوء. وهذا يعني أنه عندما يصبح النجم كثيفاً بما فيه الكفاية، فإن التنافر الناتج من مبدأ باولي **سيكون أقل من قوة جذب الجاذبية للداخل.** أدرك تشاندراسيخار بالحسابات أن النجم البارد والذي له كتلة أكبر مرة ونصف من كتلة الشمس لن يكون قادراً على الصمود أمام قوة الجاذبية التي ستكمشه للداخل. هذا الحد من الكتلة يسمى حد تشاندراسيخار.

كان لذلك آثار خطيرة حول المصير النهائي للنجوم الضخمة. إذا كانت كتلة النجم أقل من حد تشاندراسيخار، فإنه يستطيع في نهاية المطاف ايقاف قوة الانكماش للداخل الناجمة عن قوة الجاذبية ويستقر إلى حالة نهائية محتملة كقزم أبيض بكرة نصف قطرها بضعة آلاف من الأميال وكثافته تساوي مئات الأطنان لكل بوصة مكعبة. ويتم دعم القزم الأبيض ضد الانهيار الجاذبي من قبل مبدأ الاستبعاد بين **إلكترونات مادته. نحن نلاحظ عدداً كبيراً من نجوم**

القزم الأبيض. أول قزم أبيض تم اكتشافه يدور حول الشعرى اليمانية، ألمع نجم في **سماء الليل.**

أيضاً تم ادراك أن هناك حالة أخرى نهائية مختلفة ومحتملة لنجم له كتلة في حدود واحد إلى اثنين من كتلة الشمس، ولكن أصغر بكثير حتى من القزم الأبيض. هذه النجوم ستكون مدعومة بمبدأ باولي للاستبعاد بين النيوترونات والبروتونات، وليس بين الإ**لكترونات.** لذلك تُسمى النجوم النيوترونية. أنصاف أقطار هذه النجوم تساوي تقريباً عشرة أميال أو نحو ذلك وكثافته تساوي مئات الملايين من الأطنان لكل بوصة **مكعب.** في الوقت الذي تم التنبؤ بها لأول مرة، لم يكن هناك أي طريقة يمكن أن نلاحظ بها النجوم النيوترونية**، ولم يتم اكتشافها إلا في وقت لاحق.**

من ناحية أُخرى، النجوم التي لها كتلة أعلى من حد تشاندراسيخار، سيكون لديها مشكلة كبيرة عندما تستهلك وقودها. في بعض الحالات تنفجر أو تتدارك نفسها بإلقاء ما يكفي من مادتها للخارج للحد من كتلتها، لكن من الصعب أن نعتقد أن هذا ما سيحدث دائماً، بغض النظر عن ضخامة النجم. كيف لها أن تعرف أنها مضطرة لإنقاص وزنها؟ وحتى لو نجح كل نجم في فقدان ما يكفي من الكتلة، ماذا سيحدث لو أضفنا كتلة أكثر إلى القزم الأبيض أو النجم النيوتروني لزيادتها فوق الحد؟ هل ستنهار إلى كثافة لا نهائية؟

كان ادينغتون مصعوقاً من هذه التضمينات ورفض تصديق نتيجة تشاندراسيخار. كان يظن أنه ببساطة لا يمكن أن ينهار نجم إلى نقطة. وكان هذا رأي **معظم العلماء. كتب آينشتاين ورقة بنفسه ادعى فيها أن النجوم لا يمكن أن تتقلص إلى حجم الصفر.** وأدى عداء علماء آخرين، خاصة ادينغتون، ومعلمه السابق، والسلطة التوجيهية لعلماء تركيب النجوم، إلى إقناع تشاندراسيخار لترك العمل على هذه الفكرة، والعمل على مشاكل أ**خرى في علم الفلك.** لكن، **رغم ذلك، حصل على جائزة نوبل لعام ١٩٨٣، على الأقل جزئياً، لعمله المبكر على حد الكتلة المسموح للنجوم الباردة.**

بين تشاندراسيخار أن مبدأ الاستبعاد لا يمكنه أن يوقف انهيار نجم له كتلة أعلى من حد تشاندراسيخار. مشكلة ما سيحدث للنجم بعد ذلك، وفقاً للنطرية النسبية العامة، لم تُحَل إلا عام ١٩٣٩ على يد شاب امريكي، يدعى روبرت اوبنهايمر. بينت حساباته أنه لن تكون هناك نتائج يمكن رصدها بتلسكوبات ذاك الوقت. بعد ذلك اندلعت الحرب العالمية الثانية وأصبح اوبنهايمر **نفسه متورطاً بشكل وثيق في مشروع القنبلة الذرية.** وبعد الحرب، تم نسيان مشكلة الانهيار الجاذبي إلى حد كبير لأن معظم العلماء كانوا مهتمين بما يحدث على نطاق الذرة ونواتها. ولكن في ستينات القرن العشرين، تم إحياء الاهتمام بالمشاكل

واسعة النطاق لعلم الفلك وعلم الكونيات من خلال زيادة كبيرة في الرصد الفلكي الناجم عن تطبيق التكنولوجيا الحديثة. تم إعادة النظر في اكتشاف اوبنهايمر وتوسيعه من قبل عدد من العلماء.

الصورة التي لدينا الآن من عمل اوبنهايمر هي كما يلي: المجال الجاذبي للنجم يغير مسارات أشعة الضوء في الزمكان مما كان يمكن أن يكون لو لم يكن النجم موجوداً. إن المخاريط الضوئية، التي تشير إلى المسارات التي تتبعها ومضات الضوء في الزمان **والمكان تنحني قليلاً إلى داخل سطح النجم.** يمكن ملاحظة هذه الظاهرة عن طريق انحناء الضوء القادم من النجوم البعيدة خلال **فترة كسوف الشمس.** كلما انهار النجم للداخل، فإن مجال الجاذبية على سطح النجم يصبح أقوى وستنحني المخاريط الضوئية للداخل أكثر. وهذا سيُصَعب هروب الضوء من سطح النجم، وسيبدو باهتاً ومنزاحاً **ناحية الأحمر بالنسبة لمراقب بعيد عن النجم.**

في نهاية المطاف، عندما يتقلص النجم إلي نصف قطر معين حرج، فإن مجال الجاذبية على سطحه يصبح قوياً إلى درجة تنحني فيها المخاريط الضوئية إلى الداخل ولا يعد الضوء قادراً على الهروب من سطح النجم. وفقاً للنظرية النسبية، لا يمكن لأي شيئ **أن ينتقل بأسرع من سرعة الضوء.** وهكذا، لا يمكن للضوء أو لأي شيئ آخر أن يهرب. كل شيئ سيتم سحبه مرة أخرى **بواسطة المجال الجاذبي.** لذا سيكون لدينا منطقة في الزمكان لا يمكن لأي شيئ أن يصل منها إلى مراقب بعيد. هذه المنطقة هي ما نسميه اليوم الثقب الأسود، وحدوده تسمى **أفق الحدث.**

لفهم **ما يمكن لك أن تراه في حال انهيار نجم ليشكل ثقب أسود، يجب عليك أن تتذكر أنه لا يوجد زمن مطلق في النظرية النسبية. كل مراقب لديه مقياسه الخاص للوقت.** الوقت الجاري عند شخص ما على نجم سيكون مختلفاً عن شخص يقع على بعد مسافة معينة، وذلك بسبب المجال الجاذبي للنجم. وقد تم قياس هذا التأثير بالفعل في تجربة على الأرض تم وضع فيها ساعتين في أعلى وأسفل برج. لنفترض أن هناك رائد فضاء شجاع موجود على سطح نجم منهار ويرسل اشارة ضوئية كل ثانية، وفقاً لساعته، إلى سفينة فضاء تدور حول النجم. في وقت ما على ساعته، لنقل الحادية عشر، سيتقلص النجم تحت نصف القطر الحرج بحيث سيصبح مجال الجاذبية قوياً إلى درجة تمنع وصول الإشارات الضوئية **إلى السفينة الفضائية.**

أصحابه الذين ينظرون من سفينة الفضاء سوف يجدون أن الفترة الزمنية المستغرقة بين الإشارات المرسلة من رائد الفضاء تصبح أطول فأطول كلما اقتربت من الحادية عشر. لذلك سيكون التأثير صغيرا جداً قبل **10:59:59**.

سيتعين عليهم الانتظار أكثر قليلاً من ثانية بين اشارة رائد الفضاء **10:59:58** وبين الاشارة التي أرسلها عندما يقرأ ساعته **10:59:59**، ولكن عليهم أن ينتظروا إلى الأبد الاشارة التي تشير إلى الحادية عشر. الموجات الضوئية المنبعثة من سطح النجم بين **10:59:59** والحادية عشر، من قبل ساعة رائد الفضاء، ستنتشر على فترة لا متناهية من الزمن، كما تُرى من أصحابه في **سفينة الفضاء.**

الفاصل الزمني بين وصول الموجات المتتالية التي نجحت في الإفلات من سطح النجم إلى سفينة الفضاء ستصبح أطول فأطول، وبالتالي سيبدو الضوء القادم من النجم أحمراً فأحمر وأبهتاً **فأبهت.** في نهاية المطاف، سيبدو **النجم قاتماً بحيث لا يعود من الممكن رؤيته من سفينة الفضاء.** كل ما تركه سيكون ثقباً أسوداً في الزمكان. **لكن سيظل النجم يمارس نفس قوة الجاذبية على سفينة الفضاء. ذلك لأن النجم لا يزال مرئياً لسفينة الفضاء، من حيث المبدأ على الأقل.** فقط الضوء القادم من سطح النجم أصبح منزاحاً جداً **ناحية الأحمر بسبب مجال الجاذبية بحيث لا يمكن رؤيته.** ومع ذلك، فإن الانزياح ناحية الأحمر **لا يؤثر على مجال الجاذبية نفسه.** وهكذا، فإن سفينة الفضاء **ستستمر في مدارها حول الثقب الأسود.**

أظهر العمل الذي قام به روجر بنروز وأنا بين عامي ١٩٦٥ و١٩٧٠، أنه وفقاً للنظرية النسبية العامة، يجب أن يكون هناك فردانية بكثافة لانهائية داخل الثقب الأسود. وهذا مشابه للانفجار العظيم في بداية الزمن، إلا أنه سيكون نهاية للزمن بالنسبة للجسم المنهار ورائد الفضاء الذي يقف على سطحه. في الفردانية، قوانين العلم وقدرتنا على التنبؤ بالمستقبل ستنهار تماماً. ومع ذلك، فإن المراقب الذي ظل خارج الثقب الأسود لن يتأثر في القدرة على التنبؤ، لأنه لا ضوء ولا أي اشارة أُخرى **يمكن أن تصل من الفردانية.**

هذه الحقيقة الرائعة أدت بروجر بنروز **إلى افتراض ما يسمى "فرضية الرقابة الكونية"، والتي يكمن اعادة صياغتها بهذه العبارة: "الإله يكره الفردانية العارية"**. بكلمات أُخرى، الفردانيات الناتجة عن الانهيار الجاذبي تحدث فقط في أماكن مثل الثقوب السوداء، بحيث يتم إخفاؤها بشكل لائق من المراقب الخارجي بواسطة **أفق الحدث.** وهذا ما يُعرف بفرضية الرقابة الكونية الضعيفة، وتعني: حماية المراقبين الذين لا يزالون خارج الثقب الأسود من عواقب انهيار القدرة على التنبؤ التي تحدث في الفردانية. لكنها لا تفعل شيئاً على الإطلاق لرائد الفضاء المسكين الواقع داخل الثقب. ألا ينبغي أن يحمي الله تواضعه أيضاً؟

هناك بعض الحلول لمعادلات النسبية العامة التي تسمح لرائد الفضاء بأن يرى فردانية عارية. قد يكون قادراً على تجنب ضرر الفردانية وبدلاً من ذلك سيسقط خلال "**ثقب دودي**" ويخرج في منطقة أخرى من الكون. وهذا من شأنه أن يوفر إمكانية كبيرة للسفر عبر الزمان والمكان، لكن يبدو أن الحلول قد تكون غير مستقرة إلى حد كبير. إن أقل اضطراب ممكن، مثل وجود رائد الفضاء، قد يغير تلك الثقوب الدودية بحيث لا يستطيع رائد الفضاء أن يرى الفردانية حتى يرتطم بها وتحين نهاية وقته. بعبارة أخرى، **الفردانية تقع دائماً في مستقبله ولا تقع أبداً في ماضيه.**

إن النسخة القوية من فرضية الرقابة الكونية تنص على أنه في حال وجود حل واقعي، فإن الفردانيات ستقع دائماً إما كلياً في المستقبل، مثل فردانيات الانهيار الجاذبي، أو تقع كلياً في الماضي، مثل الا**نفجار العظيم.** ومن المأمول جداً أن تكون هناك نسخةً من فرضية الرقابة الكونية بحيث قد تعني الفردانيات العارية أن السفر إلى الماضي ممكن. في حين أن كل هذا سيكون على ما يرام لكُتاب الخيال العلمي، فإن ذلك قد يعني أن حياة أي شخص لن تكون أبداً في أمان. فقد يذهب شخص للماضي ويقتل والدك أو والدتك قبل **أن تولد!**

عند انهيارالجاذبية لتشكيل ثقب أسود، ستتأثر تلك العملية بسبب انبعاث موجات الجاذبية [20]. لذلك قد يتوقع المرء أن ذلك لن يدوم طويلاً قبل أن يصل الثقب الأسود إلى حالة مستقرة. كان من المفترض عموماً أن هذه الحالة الثابتة النهائية تعتمد على تفاصيل الجسم المنهار إلى ثقب أسود. قد يكون للثقب الأسود أي شكل أو أي حجم، وشكله قد لا يكون ثابتاً، فبدلاً من ذلك قد **يكون نابضاً.**

في عام ١٩٦٧ حدثت ثورة في دراسة الثقوب السوداء بواسطة ورقة كتبها فيرنر اسرائيل في دبلن (عاصمة جمهورية أيرلندا). أظهر اسرائيل أن أي ثقب أسود لا يدور يجب أن يكون كروياً تماماً. علاوة على ذلك، سيعتمد حجمه على الكتلة. في الواقع، يمكن وصفها بحل معين لمعادلات آينشتاين التي كانت معروفة منذ عام ١٩١٧، عندما وجدها كارل شفارتزتشيلد بعد فترة وجيزة من اكتشاف النسبية العامة. في البداية، تم تفسير نتائج اسرائيل من قبل العديد من الأفراد، بما في ذلك اسرائيل نفسه، كدليل على أن الثقوب السوداء لا تتشكل إلا من انهيار الأجسام المستديرة تماماً أو الكروية. وبما أن جسم حقيقي لن يكون كروياً تماماً، فهذا يعني، أن الانهيار الجاذبي سيؤدي بشكل عام إلى فردانيات **عارية.** ومع ذلك، كان هناك تفسير مختلف لنتيجة اسرائيل، وهو ما دعا إليه روجر بنروز و جون ويلر على وجه الخصوص، وهو أن هذا الثقب الأسود يجب أن يتصرف ككرة ماء. على الرغم من أن الجسم بدأ من

حالة غير كروية، عندما انهار ليشكل ثقباً أسوداً فإنه سيستقر إلى حالة كروية بسبب انبعاث موجات الجاذبية. دعمت حسابات رياضية أخرى هذا الرأي وأصبح معتمداً **بشكل عام.**

لقد تعاملت نتيجة اسرائيل مع حالة الثقوب السوداء التي تكونت من أجسام غير دوارة. على سبيل المقارنة مع كرة الماء، سيكون من المتوقع أن الثقب الأسود المتشكل من انهيار جسم دوار لن يكون مستديراً تماماً. بل سيكون منتفخاً عند خط الاستواء نتيجة تأثير الدوران. نحن نلاحظ انتفاخاً صغيراً مثل هذا في الشمس، ناجماً **عن الدوران مرة واحدة كل خمسة وعشرين يوماً أو نحو ذلك.** في عام ١٩٦٣، وجد النيوزلندي روي كير، مجموعة من حلول الثقب الأسود لمعادلات النسبية العامة أكثر عمومية من حلول شفارتزتشيلد. ثقوب كير الدوارة هذه تدور بمعدل ثابت، شكلها وحجمها يعتمد على **الكتلة ومعدل الدوران.** إذا كان معدل الدوران يساوي صفراً، يصبح الثقب مستديراً تماماً وتصبح الحلول متطابقة تماماً مع حل شفارتزتشيلد [21]. لكن إذا كان هناك معدل دوران معين لا يساوي الصفر، سينتفخ الثقب الأسود نحو الخارج قرب خط الاستواء. لذلك كان من الطبيعي أن نخمن أن الجسم الدوار المنهار ليشكل ثقباً أسوداً سينتهي في نهاية المطاف إلى **حالة توصف بواسطة حل كير.**

في عام ١٩٧٠، أخذ زميل بحث لي، براندون كارتر، الخطوة الأولى نحو إثبات هذا التخمين. أظهر أنه في حال وجود ثقب أسود دوار مستقر له محور تماثل، مثل لعبة الخُذروف [22]**، فإن حجمه وشكله سيعتمد فقط على كتلته ومعدل دورانه.** ثم في عام ١٩٧١، أثبتُ أنا أن أي ثقب أسود دوار ومستقر سيكون في الواقع مثل هذا المحور من التماثل. وأخيراً، في عام ١٩٧٣، استخدم ديفيد روبنسون، من كلية كينغز لندن، نتائج كارتر مع نتائجي لإظهار أن هذا التخمين كان صحيحاً: مثل هذا الثقب الأسود سيُمثل في الواقع **حل كير.**

إذن حتى بعد الان**هيار الجاذبي يجب على الثقب الأسود أن يستقر إلى حالة نهائية بحيث يستطيع الدوران، بدون تذبذب.** علاوة على ذلك، حجمه وشكله سيعتمد فقط على كتلته ومعدل دورانه، وليس على طبيعة الجسم المنهار الذي شكل فردانية الثقب الأسود. وقد أصبحت هذه النتيجة معروفة بالقول المأثور "**ليس للثقب الأسود شعر**". **وهذا يعني أن كمية كبيرة جداً من المعلومات عن الجسم الذي انهار يجب أن تضيع عندما يتم تشكيل ثقب أسود، لأنه بعد ذلك كل ما يمكن قياسه حول الجسم هو كتلته ومعدل دورانه. وستظهر أهمية ذلك في المحاضرة القادمة.** نظرية عدم وجود الشعر تلك لها أيضاً أهمية كبيرة عملية لأنها تقلل إلى **حد كبير الأنواع المحتملة للثقوب**

السوداء. وبالتالي يمكن للمرء أن يضع نماذجاً **مفصلة للأجرام التي قد تحتوي على ثقوب سوداء، ومقارنة تنبؤات النماذج مع الملاحظات التجريبية.**

الثقوب السوداء هي واحدة من عدد قليل نسبياً من الحالات الموجودة في تاريخ العلم بحيث تم وضع نظرية لها بتفصيل كبير كنموذج رياضي **قبل أن يكون هناك أي دليل تجريبي عليها يثبت صحتها.** في الواقع، كانت هذه الحجة الرئيسية لمعارضي الثقوب **السوداء.** كيف يمكن للمرء أن يؤمن بوجود مثل هذه الأجرام من دليل واحد قائم على حسابات مستندة على نظرية مشكوك فيها وهي النسبية العامة؟

ولكن، وفي عام ١٩٦٣، وجد مارتن شميدت، وهو عالم فلك في مرصد جبل بالومار في كاليفورنيا، شيئاً خافتاً يشبه النجم، في اتجاه مصدر موجات راديو تسمى **3C273**، وهو المصدر رقم **273** في كتالوج كامبردج الثالث للمصادر الراديوية. فبينما كان يقيس الانزياح الأحمر للجرم، وجد أنه كبير جداً على أن يكون سببه المجال الجاذبي: لو كان المجال الجاذبي هو سبب الانزياح ناحية الأحمر، سيكون الجرم ضخماً جداً وقريباً جداً منا بحيث أنه سيشوش على حركة مدارات الكواكب في النظام الشمسي. وهذا يشير إذاً إلى أن هذا الإنزياح الأحمر سببه تمدد الكون، مما يعني بدوره **أن الجرم يقع على بعد شاسع جداً منا. ولكي يكون مرئياً من مثل هذه المسافة الشاسعة، يجب أن يكون الجرم ساطعاً جداً ويجب أن يطلق كمية كبيرة من الطاقة.**

والآلية الوحيدة التي يمكن التفكير بها حول هذه الظاهرة التي تُنتج طاقة عالية جداً يبدو أنها انهيار جاذبي ليس فقط لنجمة بل لكل المنطقة المركزية للمجرة. وقد تم اكتشاف عدد آخر مما نسميه الآن "أشباه النجوم" أو الكوازارت، وكلها لها إزاحات **حمراء كبيرة.** ولكنها كلها بعيدة جداً عنا وصعبة جداً لمراقبتها إلا أنها توف**ر أدلة قاطعة على وجود الثقوب السوداء.**

وظهر المزيد من التشجيع لوجود الثقوب السوداء عام ١٩٦٧ مع اكتشاف طالبة بحث في كامبريدج تدعى جوسلين بيل، لأجرام في السماء تنبعث منها نبضات منتظمة من موجات الراديو. في البداية ظنت جوسلين والمشرف عليها، أنتوني هويش، أنهما قد اتصلا بحضارة غريبة في المجرة. في الواقع، في الندوة التي أعلنوا فيها عن اكتشافهم، أتذكر أنهم سموا المصادر الأربعة الأولى التي يمكن العثور عليها باسم **LGM 1–4** حيث **LGM** تشير إلى الأحرف الأولى للكلمات الموجودة في الجملة **Little Green Men)** الرجل الأخضر الصغير**).**

لكن في نهاية المطاف، توصلوا هم وآخرون إلى استنتاج أقل رومانسية من هذه الكائنات، والتي أُعطيت اسم النوابض، وهي ليست سوى نجوم نيوترونية

دوارة. كانت **تنبعث منها نبضات موجات الراديو بسبب تعقيد غير مباشر بين حقولها المغناطيسية والمواد المحيطة بها.** كانت هذه أنباء سيئة بالنسبة لكُتاب **قصص رعاة البقر الفضائيين، لكنها شكلت أملاً كبيراً بالنسبة لعدد صغير منا ممن اعتقدوا بالثقوب السوداء في ذلك الوقت.** كان هذا أول دليل قاطع على وجود النجوم النيوترونية. يبلغ نصف قطر النجم النيوتروني حوالي عشرة أميال، أي أكبر بقليل من نصف القطر **الحرج الذي يصبح فيه النجم ثقباً أسوداً.** إذا كان بإمكان النجم أن ينهار إلى هذا الحجم الصغير، فإنه ليس من المستبعد أو غير المعقول أن نتوقع أن النجوم الأخرى يمكن أن تنهار **إلى حجم أصغر وتصبح ثقوباً سوداء.**

كيف يمكننا أن نأمل في اكتشاف ثقب أسود، إذا كان بالتعريف لا يبعث أي ضوء؟ إن ذلك مشابه للبحث عن قط أسود في قبو فحم. لحسن الحظ، هناك طريقة، فكما أشار جون ميشيل في ورقته الرائدة عام ١٧٨٣، بأن للثقب الأسود جاذبية تؤثر على الأجرام القريبة منه. وقد لاحظ الفلكيون عدداً من الأنظمة بحيث يدور نجمان حول بعضهما البعض، مشدودين ناحية بعضهما **بقوة الجاذبية. كما أنهم لاحظوا أيضاً أنظمة تحوي نجماً مرئياً واحداً يدور حول شريك غير مرئي.**

لا يمكن أن نستنتج مباشرة أن هذا الشريك هو بالتأكيد ثقب أسود. قد يكون نجماً عادياً خافتاً جداً للنظر. ومع ذلك، فإن بعض هذه الأنظمة، مثل تلك التي تسمى نجم الدجاجة اكس ١ **Cygnus X-I** تحتوي على مصادر قوية للأشعة السينية. أفضل تفسير لهذه الظاهرة هو أن الأشعة السينية تولد بواسطة مادة تم تفجيرها على سطح نجم **مرئي.** فكلما سقطت المادة ناحية الشريك الغير مرئي، تنتج حركة حلزونية، مثل حركة تصريف الماء في الحمام، ومن ثم تصبح ساخنة جداً، وبالتالي تطلق أشعة اكس. ولكي تعمل هذه الآلية، يجب أن يكون الشريك الغير مرئي صغيراً جداً، مثل قزم أبيض، أو **نجم نيوتروني، أو ثقب أسود.**

الآن، من الحركة الملحوظة للنجم المرئي، يمكن تحديد أقل كتلة ممكنة للشريك الغير مرئي. في حالة نجم الدجاجة اكس ١، تُقدر الكتلة بحوالي ستة مرات من كتلة الشمس. وفقاً لنتيجة تشاندراسيخار، فإن هذه الكتلة كبيرة جداً على أن تكون قزم أبيض. وأيضاً كبيرة جداً لتكون نجم نيوتروني، إذن يجب أن يكون ثقباً أسوداً.

هناك نماذج أُخرى لشرح ظاهرة كوكبة نجم الدجاجة اكس ١ بحيث لا تشمل ثقباً أسوداً، لكن كلها بعيدة الاحتمال. يبدو أن الثقب الأسود هو التفسير الطبيعي الوحيد لهذه الملاحظات. على الرغم من ذلك، لدي رهان مع كيب

ثورن [23] من معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا حول إذا ما كانت كوكبة نجم الدجاجة اكس ١ تحوي ثقباً أسوداً أم لا؟ هذا شكل من أشكال التأمين بالنسبة لي، لقد عملت كثيراً في موضوع الثقوب السوداء، وسوف يضيع كل ذلك إذا اتضح أن الثقوب السوداء غير موجودة. ولكن في هذه الحالة، أود أن أحصل على مجلة العين الخاصة [24] كعزاء لي لخسارة الرهان. أما إذا كانت الثقوب السوداء موجودة، سيحصل كيب على مجلة بنتهاوس [25] لمدة سنة، لأنه عندما بدأنا الرهان عام ١٩٧٥، كنا متأكدين بنسبة ٨٠ بالمئة أن كوكبة الدجاجة تحوي ثقباً أسوداً. الآن، أود أن أقول إننا متأكدين بنسبة ٩٥ بالمئة، لكن لم يتم حسم الرهان بعد [26].

هناك أدلة على وجود الثقوب السوداء في عدد من الأنظمة الأُخرى في مجرتنا، وهناك ثقوب سوداء أكبر بكثير تقع في مراكز المجرات والكوازارت الأُخرى. يمكن للمرء أن ينظر أيضاً في إمكانية وجود ثقوب سوداء بكتل أقل من كتلة الشمس. هذه الثقوب السوداء لن تتشكل بواسطة الإنهيار الجاذبي لأن كتلها أقل من حد كتلة تشاندراسيخار. نجوم تملك مثل هذه الكتلة المنخفضة يمكن أن تدعم نفسها ضد الإنهيار الجاذبي حتى عندما تستهلك وقودها النووي. لذلك، فإن الثقوب السوداء منخفضة الكتلة يمكن أن تتشكل فقط إذا تم ضغط مادتها إلى كثافات هائلة من ضغوط خارجية هائلة جداً. مثل هذه الظروف يمكن أن تحدث في قنبلة هيدروجينية كبيرة جداً. حَسَبَ الفيزيائي جون ويلر ذات مرة أنه لو أخذ أحدهم كل المياه الثقيلة في جميع محيطات العالم، فيمكنه أن يبني قنبلة هيدروجينية من شأنها أن تضغط المادة في المركز إلى درجة أنه سيتم إنشاء ثقب أسود. لكن لسوء الحظ، لن يكون هناك أي أحد على قيد الحياة ليشهد **ذلك.**

وهناك احتمال عملي أكبر أن تكون هذه الثقوب السوداء منخفضة الكتلة قد تكونت في درجات حرارة وضغوط عالية جداً في الكون المبكر جداً. قد تكون هذه الثقوب السوداء تكونت بالفعل إذا لم يكن الكون المبكر أملساً وموحداً، لأنه في هذه الحالة لو كانت هناك منطقة صغيرة أكثر كثافة من المتوسط فيمكن ضغطها بهذه الطريقة لتشكيل ثقب أسود. ونعلم أنه يجب أن تكون هناك مناطق شاذة، لأنه بخلاف ذلك فإن المادة في الكون ستظل موزعة بشكل موحد كلياً حتى في الوقت الحاضر، بدلاً من أن تتجمع في النجوم والمجرات لتشكل الشكل الحالي للكون.

وسواء أكانت أو لم تكن تلك الشذوذات المطلوبة لتشكل النجوم والمجرات قد أدت إلى تشكيل عدد كبير من الثقوب السوداء البدائية، فإن ذلك سيعتمد على تفاصيل ظروف **الكون المبكر.** لذلك إذا استطعنا تحديد عدد الثقوب

السوداء البدائية الآن، فإننا سنتعلم الكثير عن المراحل المبكرة جداً من الكون. لا يمكن الكشف عن الثقوب السوداء التي لها كتلة أكثر من مليون طن (كتلة جبل كبير) إلا من خلال تأثيرها الجاذبي على المادة المرئية الأخرى أو على توسع الكون. ومع كل ذلك، سنتعلم في المحاضرة القادمة أن الثقوب السوداء ليست سوداء تماماً بعد كل شيئ: **إنها تتوهج مثل الجسم الساخن، كلما كانت أصغر، كلما توهجت أكثر.** لذا، ومن المفارقات، أن الثقوب السوداء الصغيرة قد تكون في الواقع أسهل للكشف عنها من **الكبيرة!**

المحاضرة
الرابعة

الثقوب السوداء ليست سوداء تماماً

قبل عام ١٩٧٠، رَكزتُ أبحاثي حول النسبية العامة وبشكل رئيسي حول مسألة إذا ما كان هناك فردانية انفجار عظيم **أم لا.** في أحد أيام نوفمبر من ذلك العام، بعدة فترة وجيزة من ولادة ابنتي، لوسي، بدأت التفكير في الثقوب السوداء وأنا في طريقي إلى السرير. لقد جعلت إعاقتي هذه العملية بطيئة، لذا كان لدي الكثير من الوقت للتفكير. في ذلك الوقت لم يكن هناك تعريف دقيق لنقاط الزمكان التي تقع **داخل ثقب أسود والتي تقع في الخارج.**

كنت قد ناقشت بنروز **من قبل حول فكرة تعريف الثقب الأسود كمجموعة من الأحداث التي لا يمكن أن تهرب إلى مسافات كبيرة. وهذا هو التعريف المقبول حالياً عموماً.** وهو يعني أن حدود الثقب الأسود، **أفق الحدث، يتكون من أشعة الضوء التي تفشل في الهروب عن الثقب الأسود. فهي تبقى إلى الأبد، تحوم حول حافة الثقب الأسود.** مثل أن تهرب من شرطي مع المحافظة على **إبقاء المسافة بينك وبينه خطوة واحدة دائماً.**

فجأة أدركت أن مسارات هذه الأشعة الضوئية لا يمكن أن تقترب من بعضها، لأنهم لو فعلوا ذلك فسيسطدمون ببعضهم البعض في نهاية المطاف. سيكون مثل شخص آخر يهرب من الشرطة في الاتجاه المعاكس. وبالتالي سيتم القبض عليكما أنتم **الاثنين، أو في حالتنا هنا، تقع في الثقب الأسود.** لكن إذا ابتلع الثقب الأسود هذه الأشعة، فلا يمكن أن تكون على حدود الثقب الأسود. لذلك يجب أن تتحرك أشعة الضوء في أفق الحدث بشكل متوازي، **أو بعيداً عن بعضها البعض.**

طريقة أخرى لفهم ذلك، هو أن **أُفق الحدث (حدود الثقب الأسود) تشبه حافة الظِل.** وهو بالتعريف حافة الضوء للهروب، ولكن، على قدم المساواة، هو

أيضاً حافة الموت الوشيك. إذا نظرت للضوء القادم من مصدر يقع على بعد مسافة كبيرة، مثل الشمس، سترى أن أشعة الضوء على الحافة لا **تقترب من بعضها البعض.** إذا كانت أشعة الضوء التي تشكل **أفق الحدث (حدود الثقب الأسود)** لا يمكن أن تقترب من بعضها البعض، فإن منطقة أفق الحدث ستبقى هي نفسها أو تزداد مع مرور الزمن. لا يمكن أن تصغر أبداً، لأن ذلك قد يعني أن بعض أشعة الضوء على الحدود يجب أن تقترب من بعضها البعض. في الواقع، هذه المنطقة تزداد كلما سقطت مادة أو إشعاع داخل **الثقب الأسود.**

أيضاً، لنفترض أنه قد تصادم ثقبان أسودان واندمجا معاً لتشكيل ثقب أسود واحد. ستكون مساحة أفق الحدث للثقب الأسود المتكون أكبر من مجموع مساحتي الثقبين الأسودين قبل التصادم. لقد وضعت خاصية عدم النقصان في منطقة **أفق الحدث قيوداً هامة على السلوك المحتمل للثقوب السوداء.** لقد كنت متحمساً جداً من اكتشافي **هذا لدرجة أنني لم أحصل على القدر الكافي من النوم في تلك الليلة.**

في اليوم التالي هاتفت روجر بنروز، وقد وافقني الرأي. أعتقد، في الواقع، أنه كان على علم بهذه الخاصية لمنطقة **أفق الحدث.** ومع ذلك، كان يستخدم تعريفاً مختلفاً قليلاً للثقب الأسود. لم يدرك أن حدود الثقب الأسود بحسب هذين التعريفين **سيكون هو نفسه، بشرط أن يستقر الثقب الأسود إلى حالة ثابتة.**

القانون الثاني للديناميكا الحرارية

إن سلوك عدم النقصان لمساحة الثقب الأسود يذكرنا بسلوك كمية فيزيائية تسمى الإنتروبيا، والتي تقيس درجة فوضى النظام. هو شيئ نلاحظه في حياتنا اليومية عندما نترك الأشياء لحالها فإنها تميل إلى زيادة الفوضى؛ فقط اترك منزلك بدون **إصلاحات وسترى ذلك. يمكن للمرء أن يخلق النظام من الفوضى، على سبيل المثال، يمكن صيغ المنزل. لكن ذلك يتطلب استهلاك طاقة، وبالتالي يقلل من كمية الطاقة المتاحة.**

التعريف الدقيق لهذه الفكرة يسمى القانون الثاني للديناميكا الحرارية. وينص على أن الإنتروبيا **لأي نظام معزول لا يمكن أن تنقص أبداً مع مرور الوقت.** وفوق ذلك، عندما يندمج نظامان معاً، فإن الإنتروبيا للنظام المندمج سيكون أكبر من مجموع الانتروبيا للنظامين قبل الإندماج. **على سبيل المثال، تخيل وجود صندوق فيه جزيئات غاز. يمكننا اعتبار أن جزيئات الغاز تشبه كرات**

بلياردو صغيرة بحيث تصطدم باستمرار مع بعضها البعض وبجدران الصندوق. افترض في البداية أننا عزلنا الجزيئات **في النصف الأيسر من الصندوق بواسطة حاجز.** إذا أزلنا الحاجز، فإن الجزيئات ستميل إلى الانتشار و**إشغال كلا جانبي الصندوق.** بعد مرور وقت كافي، سيكون هناك احتمال، عن طريق الصدفة، أن تتجه الجزيئات كلها ناحية اليمين أو ناحية اليسار، لكن هذا احتمال ضعيف جداً ومن المرجح تماماً أن تملأ الجزيئات كلا جانبي الصندق بالتساوي. هذه الحالة نسميها أقل نظاماً من أن تحشر الجزيئات نفسها في أحد جانبين الصندوق فقط. لذلك نقول أن إنتروبيا الغاز قد ازدات.

وبالمثل، لنفترض أنه لدينا صندوقان، أحدهما يحتوي على جزيئات الأكسجين والآخر يحتوي على جزيئات النيتروجين. لو قمنا بخلط الصندوقين معاً بإزالة الحاجز بينها، ستبدأ جزيئات الأكسجين بالاختلاط مع جزيئات النيتروجين. وبعد مرور فترة زمنية، فإن الحالة الأكثر احتمالاً هي اختلاط جزيئات الأكسجين **مع النيتروجين بشكل موحد ومتناسق تماماً في جميع أنحاء الصندوقين.** هذه الحالة أقل انتظاماً، وبالتالي انتروبيا **أكثر من الحالة البدائية للصندوقين المنفصلين.**

للقانون الثاني للديناميكا الحرارية وضع مختلف نوعاً ما عن وضع قوانين العلم الأخرى. قوانين أخرى، مثل قانون نيوتن للجاذبية، هو قانون مطلق، حيث أنه ساري دائماً. من ناحية أخرى، القانون الثاني هو قانون إحصائي، حيث أنه لا يسري دائماً بالضبط، لكنه يسري في أكثر الحالات. إن احتمالية أن تحشر كل جزيئات الغاز نفسها في أحد جانبي الصندوق بعد مرور فترة من الزمن هو ملايين الملايين إلى واحد، لكن يمكن **أن يحدث ذلك.**

ومع هذا، يبدو أن هناك طريقة سهلة لانتهاك القانون الثاني: فقط ارم شيئاً ما ذا إنتروبيا عالية داخل ثقب أسود، مثل صندوق غاز مثلاً. في هذه الحالة ستنقص الإنتروبيا خارج الثقب الأسود. قد يقول قائل، لا مشكلة في ذلك لأن الإنتروبيا الكلية خارج وداخل الثقب الأسود لم تنقص. لكن طالما أنه لا توجد أي طريقة للنظر داخل الثقب الأسود، فلا يمكننا أن نرى كمية إنتروبيا المادة في داخل الثقب الأسود. لذلك سيكون من الجميل، لو كانت هناك ميزة للثقب الأسود بحيث يمكن للمراقبين خارج الثقب الأسود أن يقيسوا كمية الإنتروبيا بداخله؛ هذه الإنتروبيا **يجب أن تزداد كلما سقطت مادة داخل الثقب الأسود.**

بعد اكتشافي أن منطقة أُفق الحدث تزداد كلما سقطت مادة داخل الثقب الأسود، اقترح طالب بحث في برينستون يدعى ياكوب بيكينشتاين أن منطقة أُفق الحدث تمثل مقياساً لإنتروبيا الثقب الأسود. فكلما سقطت مادة تحمل إنتروبيا داخل الثقب الأسود، فإن منطقة أُفق الحدث تزداد مساحةً، بحيث لا

يمكن أن ينقص أبداً مجموع الإنتروبيا خارج الثقب الأسود مع منطقة **أفق الحدث.** يبدوا أن هذا الاقتراح يحمي القانون الثاني للديناميكا الحرارية من الانتهاك في معظم الحالات. ورغم ذلك، كان هناك عيب واحد قاتل: إذا كان الثقب الأسود يمتلك إنتروبيا، فلابد أن يمتلك درجة حرارة. لكن الجسم الذي يمتلك حرارة فوق الصفر المطلق يجب أن يبعث إشعاعاً **بمعدل معين.** وهي مسألة نختبرها في حياتنا يومياً، فعندما تقوم بتسخين قضيب حديد فإنه يبدأ بالتوهج الأحمر مع ارتفاع درجة حرارته ومن ثم يطلق أشعة ضوئية. ومع ذلك، فإن الإشعاع ينبعث أيضاً من الأجسام التي تملك درجة حرارة منخفضة؛ ولا يمكننا ملاحظة هذه الأشعة لأن كميتها قليلة جداً. هذا الإشعاع مطلوب لحماية القانون الثاني للديناميكا الحرارية. لذلك يجب على الثقوب السوداء أن تطلق إشعاعاً، لكن ومن خلال تعريفها، الثقوب السوداء هي أجسام لا يُفترض أن ينبعث منها أي شيئ. لذلك يبدو أننا لا نستطيع اعتبار منطقة أفق الحدث في الثقب الأسود على أنها مقياساً للإنتروبيا **الخاصة به.**

في الواقع، عام ١٩٧٢، كتبت ورقة حول هذا الموضوع مع براندو كارتر وزميل أمريكي، جيم باردين. أشرنا إلى أنه على الرغم من وجود أوجه تشابه كثيرة بين الإنتروبيا ومنطقة **أفق الحدث، إلا أن هذه الصعوبة تبدو قاتلة.** ولابد لي من الاعتراف بأنني قد كتبت هذه الورقة مدفوعاً جزئياً بتهيج مع بيكينشتاين، لأنني شعرت بأنه قد أساء استخدام اكتشافي لزيادة مساحة أفق الحدث. لكن اتضح في النهاية أنه كان صحيحاً من الأساس، و**إن كان بالتأكيد بطريقة غير متوقعة.**

اشعاع الثقب الأسود

في سبتمبر من عام ١٩٧٣، أثناء زيارتي لموسكو، ناقشت موضوع الثقوب السوداء مع اثنين من الخبراء الرواد في الاتحاد السوفييتي، ياكوف زيلدوفيتش وآلكسندر ستاروبينسكي. أقنعوني أنه، بحسب مبدأ عدم اليقين الكمي، فإن الثقوب السوداء الدوارة يجب أن تخلق وتبعث جسيمات. اعتقدت بصحة حججهم على أسس فيزيائية، لكنني لم أحبذ الطريقة الرياضية التي حسبوا بها تلك الانبعاثات. لذلك، قمت بتطوير أدوات رياضية أفضل، والتي ناقشتها في ندوة غير رسمية عقدت في اوكسفورد في نهاية نوفمبر من عام ١٩٧٣. في ذلك الوقت لم أكن قد أجريت الحسابات المتعلقة بمعرفة كمية الإشعاع المنبعث. كنت أتوقع فقط أن أكتشف الإشعاع الذي توقعه زيلدوفيتش وستاروبينسكي من الثقوب السوداء الدوارة. ومع ذلك، عندما قمت

بالحسابات، وجدت، لدهشتي، أنه حتى الثقوب السوداء الغير دوارة يجب أيضاً، على ما يبدو، **أن تخلق وتبعث جسيمات بمعدل ثابت.**

في البداية اعتقدت أن هذا الانبعاث يدل على أن أحد التقريبات الرياضية التي استخدمتها لم تكن صحيحة. كنت أخشى أن يكتشف بيكينشتاين ذلك، فلربما سيستخدمها بمثابة حجة إضافية لدعم أفكاره حول إنتروبيا الثقوب السوداء، والتي لا زلت لا أحبها. ومع ذلك، كلما فكرت بها أكثر، كلما بدت هذه التقريبات حقيقية أكثر. ولكن ما أقنعني في النهاية أن الانبعاث حقيقي هو أن طيف الجسيمات المنبعثة كان بالضبط مشابهاً لطيف الإنبعاث القادم **من جسم ساخن. إن الثقب الأسود يبعث جسيمات بالمعدل الصحيح تماماً وذلك لمنع انتهاك القانون الثاني.**

ومنذ ذلك الحين، تم تكرار الحسابات بطرق عديدة مختلفة من قبل أفراد آخرين. جميعهم أكدوا أن الثقب الأسود يجب أن تنبعث منه جسيمات وإشعاع كما لو كان جسماً ساخناً مع درجة حرارة تعتمد فقط على كتلة الثقب الأسود: كلما زادت الكتلة، كلما قلت الحرارة. يمكنك فهم هذا الانبعاث كالتالي: ما نظن أنه فراغ خالٍ لا يمكن أن يكون فارغاً تماماً لأن ذلك سيعني أن كل الحقول، مثل الحقل الجاذبي والحقل الكهرومغناطيسي، ستكون لهم قيمة صفرية تماماً. لكن قيمة الحقل ومعدل تغيره هي بالضبط مثل موقع وسرعة جسيم. ويخبرنا مبدأ عدم اليقين أنه كلما عرفنا قيمة واحدة من هذه الكميات بدقة كبيرة، كلما فقدنا معرفة قيمة **الكمية الأخرى بنفس دقة معرفتنا للكمية الأولى.**

لذلك في مساحة فارغة في الفضاء لا يمكن للحقل أن يمتلك قيمة ثابتة تماماً تساوي الصفر، لأنه في هذه الحالة سيمتلك قيمة محددة أيضاً لكمية التغير في الحقل والتي ستكون صفراً أيضاً. بدلاً من ذلك، يجب أن يكون هناك حد أدنى معين من عدم اليقين، أو التقلبات الكمومية، في قيمة الحقل. يمكن أن نفكر في هذه التقلبات كجسيمين من جسيمات حقل الضوء أو جسيمات حقل الجاذبية [27] التي تظهر معاً في وقت ما، ثم تنفصل، ثم تعود لبعضها البعض وتفني وجودها. تسمى هذه الجسيمات بالجسيمات الافتراضية [28]. على عكس الجسيمات الحقيقية، لا يمكن ملاحظة هذه الجسيمات بشكل **مباشر عن طريق كاشف الجسيمات.** لكن آثارها الغير مباشرة مثل التغيرات الطفيفة في طاقة مدارات الإلكترون والذرات، يمكن قياسها وقد اتفقت مع التنبؤات النظرية بدرجة **دقة ملحوظة.**

من مبدأ حفظ الطاقة، واحد من زوجي الجسيمين الافتراضيين سيمتلك طاقة موجبة والزوج الآخر سيمتلك طاقة سالبة. الذي له طاقة سالبة مقدر له أن

تكون له حياة قصيرة. وذلك لأن الجسيمات الحقيقية لديها دائماً طاقة موجبة في الحالات العادية. لذلك يجب أن تسعى إلى شريكها وتُفنى معه. ومع ذلك، فإن مجال الجاذبية داخل الثقب الأسود قوي إلى درجة أنه حتى الجسيمات الحقيقية يمكن أن يكون لها طاقة سالبة هناك.

لذلك من المحتمل، في حال وجود ثقب أسود، أن يقع الجسيم الافتراضي ذو الطاقة السالبة داخل الثقب الأسود ويتحول إلى جسيم حقيقي. في هذه الحالة لم يعد يتوجب عليه الفناء مع شريكه؛ فشريكه المهجور هذا سيسقط أيضاً داخل الثقب الأسود. ولكن لأنه يمتلك طاقة موجبة، فمن الممكن أن يهرب أيضاً للخارج كجسيم **حقيقي.** والآن بالنسبة لمراقب بعيد، سيبدو ذلك وكأنه انبعاث من الثقب الأسود. كلما كان الثقب الأسود أصغر، كلما زاد عدد الجسيمات ذات الطاقة السالبة التي يجب أن تسقط داخل الثقب الأسود **قبل أن تصبح جسيمات حقيقية.** وهكذا، سيزداد معدل انبعاث الإشعاع، وبالتالي ستكون الحرارة الظاهرية للثقب الأسود أعلى [29]. الطاقة الموجبة للجسيمات الصادرة ستتوازن مع تدفق جسيمات الطاقة السالبة الساقطة داخل **الثقب الأسود.** نعلم من معادلة آينشتاين $E = mc^2$، أن الطاقة تكافئ الكتلة. لذلك فإن تدفق الطاقة السالبة إلى داخل الثقب الأسود **سيقلل من كتلته.** وكلما فقد الثقب الأسود من كتلته، كلما قلت مساحة أفق الحدث، لكن هذا الإنخفاض في الإنتروبيا من الثقب الأسود سيتم تعويضه من خلال إنتروبيا الإشعاع المنطلق، وبالتالي يظل القانون الثاني محفوظاً دون أي انتهاك [30].

انفجارات الثقوب السوداء

علمنا أنه كلما كانت كتلة الثقب الأسود أقل، كلما ازدادت **درجة حرارته. لذلك، كلما فقد الثقب الأسود كتلة، كلما ازدادت درجة حرارته ومعدل انبعاث أشعته. وبالتالي سيفقد الكتلة بشكل أسرع. ما يحدث عندما تصبح كتلة الثقب الأسود، في نهاية المطاف، بالغة الصغر جداً غير واضح تماماً. أكثر تخمين معقول أنها ستختفي تماماً في انفجار نهائي هائل سيبعث بأشعة كبيرة جداً، تعادل انفجار ملايين القنابل الهيدروجينية.**

الثقب الأسود الذي يمتلك كتلة أكبر من كتلة الشمس بمرات قليلة ستكون درجة حرارته تساوي فقط جزء من عشرة مليون جزء فوق الصفر المطلق. وهذه الحرارة أقل بكثير من درجة حرارة الإشعاع الراديوي [31] الذي يملأ الكون، حوالي ٢.٧ درجة فوق الصفر المطلق، لذلك فإن مثل هذه الثقوب

السوداء **تمتص أكثر مما تعطي.** إذا كان الكون متجه للتوسع إلى الأبد، فإن درجة حرارة الإشعاع الراديوي الكوني ستنخفض إلى أقل من درجة حرارة الثقوب السوداء. عندئذٍ سيطلق الثقب أكثر مما يمتص وسيبدأ في فقد الكتلة. ولكن، حتى ذلك الحين، ستبقى درجة حرارته منخفضة جداً بحيث ستستغرق العملية 10^{66} سنة [32] ليتبخر الثقب الأسود تماماً! هذا أطول بكثير من عمر الكون، والذي يقدر بحوالي 10^{10} **سنة.**

من ناحية أُخرى، وكما تعلمنا من المحاضرة السابقة، قد تكون هناك ثقوب سوداء بدائية ذات كتلة صغيرة جداً والتي نشأت من الانهيار الجاذبي للتوزيع الشاذ للمادة الموجود في المراحل المبكرة جداً من الكون. مثل هذه الثقوب السوداء سيكون لها درجة حرارة عالية جداً، ومن شأنها أن تبعث أشعة بمعدل عالٍ جداً. فالثقب الأسود البدائي مع كتلة تساوي ألف مليون طن سيكون له **عمر يساوي تقريباً عمر الكون.** أما الثقوب السوداء البدائية والتي لها كتل أقل من ذلك، فيجب أن تكون قد تبخرت تماماً. ومع ذلك، فإن الثقوب التي لها كتل أكبر من ذلك بقليل لا يزال ينبعث منها أشعة اكس وأشعة غاما. هذه الأشعة عبارة عن موجات ضوء، لكن مع طول موجي قصير جداً. **مثل هذه الثقوب بالكاد تستحق لقب أسود.** فهي عملياً بيضاء ساخنة، وتنبعث منها طاقة تُقدر بنحوعشرة **آلاف مليون واط.**

ويمكن لواحد من مثل هذه الثقوب أن يُشَغل عشرة محطات توليد كهرباء كبيرة، إذا أمكننا تسخير إنتاجها. غير أن ذلك سيكون صعباً نوعاً ما. الثقب الأسود ستكون له كتلة جبل لكن مضغوطة إلى حجم نواة ذرة. لو كان لديك واحد من مثل هذه الثقوب السوداء على سطح الأرض، فلن تكون هناك طريقة لإيقاف سقوطها من سطح الأرض إلى مركز الأرض. ستتأرجح ذهاباً وإياباً خلال الأرض حتى تستقر في المركز. وبالتالي فإن المكان الوحيد لوضع مثل هذا الثقب الأسود، الذي يمكن الإستفادة من الطاقة المنبعثة **منه، سيكون في مدار حول الأرض.** والطريقة الوحيدة لجلبه إلى مدار حول الأرض هو بسحبه من خلال كتلة كبيرة جداً، مثل تعليق الجزرة أمام الحمار. يبدو **أن هذا الاقتراح غير عملي تماماً، على الأقل ليس في المستقبل القريب.**

البحث عن الثقوب السوداء البدائية

لكن حتى لو لم نتمكن من تسخير انبعاث الطاقة من هذه الثقوب السوداء البدائية، ما هي فرصنا لرصدها؟ يمكننا البحث عن أشعة غاما التي تنبعث من

هذه الثقوب السوداء البدائية خلال معظم حياتها. وعلى الرغم من أن الأشعة المنبعثة منها ضعيفة جداً بسبب بعدها الشاسع، إلا أن المجموع الكلي للأشعة المنبعثة منهم جميعاً يمكن ملاحظته. ونحن نلاحظ في الواقع هذا الشيئ؛ **خلفية من أشعة غاما.** لكن **مع ذلك، قد تكون هذه الخلفية ناشئة من عمليات أخرى غير الثقوب السوداء البدائية.** يمكن القول أن ملاحظات خلفية أشعة غاما لا توفر أي دليل إيجابي للثقوب السوداء البدائية. لكنها تخبرنا أنه، في المتوسط، لا يمكن أن يكون هناك أكثر من ثلاثمائة ثقب أسود **بدائي في كل سنة ضوئية مكعبة في الكون.** هذا الحد يعني أن الثقوب السوداء البدائية يمكن أن تشكل في الغالب واحداً على مليون من متوسط كثافة الكتلة الكلية **في الكون.**

مع كون الثقوب السوداء البدائية نادرة جداً، يبدو أنه من غير المحتمل أن يكون هناك واحد منها قريب منا بما فيه الكفاية لرصده. ولكن طالما أن الجاذبية تجذب الثقوب السوداء تجاه أي مادة، فيجب أن تكون تلك الثقوب منتشرة في المجرات بشكل أكبر. فلو كانوا، على سبيل المثال، منتشرين بمعدل مليون مرة في المجرات، فعلى الأرجح، سيقع أقرب ثقب أسود لنا على بعد حوالي ألف مليون كيلومتر، أو تقريباً كبعد بلوتو عنا، أبعد كوكب معروف عنا [33]. في مثل هذه المسافة سيكون من الصعب جداً رصد انبعاث **إشعاعي ثابت من الثقب الأسود حتى لو كان بمعدل عشرة آلاف مليون واط.**

لمراقبة ثقب أسود بدائي، يجب أن يراقب شخص ما كمية من أشعة غاما قادمة من نفس الاتجاه في غضون فترة معقولة من الزمن، **أسبوع مثلاً.**

وإلا، قد تكون ببساطة جزءاً من خلفية أشعة غاما. لكن مبدأ بلانك الكمومي يخبرنا بأن كل كمية من أشعة غاما لديها طاقة عالية جداً، لأن أشعة غاما لها تردد عالٍ جداً. لذلك لتشع حتى عشرة آلاف مليون واط لن تأخذ العديد من الكوانتا [34]. ورصد هذه الكوانتا القليلة القادمة من نفس مسافة بعد بلوتو تتطلب كاشف أشعة غاما أكبر بكثير من التي تم بناؤ**ها حتى الآن. وعلاوة على ذلك، يجب أن يكون الكاشف في الفضاء، لأن أشعة غاما لا يمكن لها أن تخترق الغلاف الجوي.**

وبطبيعة الحال، لو كان الثقب الأسود أقرب من بلوتو، ووصل إلى نهاية حياته وانفجر، سيكون من السهل رصد الاندفاع النهائي للانبعاث. لكن إذا كان الثقب الأسود يبعث أشعته منذ العشر أو العشرين ألف مليون سنة الماضية، ستكون احتمالية بلوغ نهاية **حياته خلال السنوات القليلة القادمة ضئيلة نوعاً ما. وقد يكون الأمر كذلك لبضعة ملايين من السنين في الماضي أو المستقبل.** لذا من أجل الحصول على فرصة معقولة لرؤية انفجار قبل انتهاء مدة البحث

الممنوحة لك، يجب عليك أن تجد طريقة لرصد أي انفجارات تقع على بعد حوالي **سنة ضوئية واحدة.** لكن لا زالت لديك مشكلة الحاجة إلى كاشف أشعة غاما كبير لرصد العديد من أشعة غاما القادمة من الانفجار. ومع ذلك، في هذه الحالة، لن يكون من الضروري التأكد من أن كل الأشعة قد جاءت من نفس الإتجاه. سيكون كافياً أن تلاحظ أن جميع الأشعة قد وصلت في غضون فترة زمنية قصيرة جداً لتكون واثقاً إلى حدٍ معقول أنهما قادمون من نفس الا**نفجار.**

أحد كواشف أشعة غاما والذي قد يكون قادراً على اكتشاف الثقوب السوداء البدائية هو الغلاف الجوي للأرض بأكمله. (من المرجح على أي حال، أننا لن نكون قادرين على بناء كاشف أكبر). عندما تضرب أشعة غاما عالية الطاقة ذرات الغلاف الجوي، فإنها ستخلق أزواجاً من الإلكترونات والبوزيترونات. وعندما تضرب هذه الجسيمات ذرات أخرى، فإنها بدورها ستخلق المزيد من أزواج الإلكترونات والبوزيترونات. وبالتالي ستحصل على ما يسمى "دش الإلكترون **electron shower".** ستكون النتيجة شكلاً من أشكال الضوء يسمى إشعاع تشيرنكوف **Cherenkov radiation.** بعدها يمكنك الكشف عن **انفجارات أشعة غاما من خلال البحث عن ومضات من الضوء في سماء الليل.**

بالطبع، هناك عدد من الظواهر الأخرى، مثل البرق، والتي يمكن أن تعطي أيضاً ومضات في السماء. ومع ذلك، يمكن تمييز أشعة غاما عن الآثار الأخرى من خلال مراقبة الومضات الآنية التي تقع في مكانين أو أكثر في مواقع منفصلة على نطاق واسع جداً. وقد أجرى بحثاً من هذا القبيل اثنان من دبلن، نيل بورتر و تريفور ويكيس، وذلك باستخدام التلسكوبات في ولاية آريزونا. و**وجدوا عدد من الومضات لكن لا يمكن أن يُعزى ذلك قطعاً إلى انفجارات أشعة غاما من الثقوب السوداء البدائية.**

حتى لو كان البحث عن الثقوب السوداء البدائية قد أعطى نتائجاً سلبية، كما يبدو ذلك، إلا أنها ما زالت تعطينا معلومات هامة حول المراحل المبكرة جداً من الكون. إذا كان الكون المبكر فوضوي أو غير نظامي، أو إذا كان ضغط المادة منخفضاً، فيمكننا أن نتوقع منه أن ينتج ثقوباً سوداء أكثر من الحد الأقصى الذي حددته ملاحظاتنا لخلفية أشعة غاما. فقط إذا كان الكون المبكر سلساً جداً ومتوحداً، وبضغط عالٍ، فيمكن تفسير سبب عدم ملاحظتنا للثقوب السوداء البدائية التي يمكن ملاحظتها من حيث المبدأ [35].

النسبية العامة وميكانيكا الكم

كان إشعاع الثقب الأسود أول مثال على التنبؤ الذي يعتمد على أكبر نظريتين في القرن العشرين، النسبية العامة وميكانيكا الكم. لقد أثارت معارضة كبيرة في البداية لأنها أزعجت وجهة النظر المعروفة: كيف يمكن أن ينبعث أي شيئ من الثقوب السوداء؟ عندما أعلنت لأول مرة عن نتائج حساباتي في مؤتمر في مختبر رذرفورد قرب أُكسفورد، كان مُرحباً بي لكن مع شيئ من الشكوك. في نهاية كلمتي، قال رئيس الجلسة، جون ج. تايلور، من كلية كينغز **في لندن: كل هذا هراء. حتى أنه كتب ورقة في هذا الصدد.**

ومع ذلك، فقد آمن معظم العلماء، بمن فيهم جون تايلور، الذي توصل إلى استنتاج مفاده أن الثقوب السوداء يجب أن تشع مثل الأجسام الساخنة إذا كانت أفكارنا حول النسبية العامة وميكانيكا الكم صحيحة. وهكذا، على الرغم من أننا لم نتمكن من العثور بعد على ثقب أسود بدائي، هناك اتفاق عام إلى حد ما على **أنه إذا فعلنا ذلك، فإنه يجب أن تنبعث منها الكثير من أشعة غاما وأشعة اكس. إذا وجدنا واحداً منها، فسأحصل على جائزة نوبل.**

ويبدو أن وجود إشعاع الثقب الأسود يعني أن الانهيار الجاذبي ليس نهائياً ولا رجعة فيه، كما قد ظننا من قبل. فإذا سقط رائد فضاء في ثقب أسود، ستزداد كتلة الثقب، وفي نهاية المطاف، فإن الطاقة المكافئة لهذه الكتلة المضافة سيتم إ**عادتها إلى الكون على شكل إشعاع. وهكذا، بمعنى ما، سيتم اعادة تدوير رائد الفضاء.** ومع ذلك، سيكون هذا نوعاً ضعيفاً من الخلود، لأن أي مفهوم شخصي للوقت لرائد الفضاء سينسحق مثلما سينسحق وجود رائد الفضاء عند سقوطه داخل الثقب الأسود. حتى أنواع الجسيمات التي تنبعث من الثقب الأسود ستكون **مختلفة بشكل عام عن تلك الجسيمات التي تشكل جسم رائد الفضاء. الخاصية الوحيدة التي ستبقى لرائد الفضاء ستكون كتلته أو طاقته.**

ينبغي أن تعمل التقريبات التي استخدمتها لاشتقاق انبعاث الأشعة من الثقوب السوداء بشكل جيد عندما يكون للثقب الأسود كتلة أكبر من جزء من غرام. لذلك، سوف تتبخر الثقوب السوداء في نهاية حياتها، وذلك **عندما تصبح كتلها صغيرة جداً.** ويبدو **أن النتيجة النهائية الأكثر احتمالاً هي اختفاء الثقب الأسود فقط، على الأقل من منطقتنا في الكون.** وسيتبخبر معه رائد الفضاء وأي **فردانية توجد داخل الثقب.** كانت هذه النتيجة أول إشارة على أن ميكانيكا الكم قد تزيل الفردانيات **التي تنبأت بها النظرية النسبية العامة الكلاسيكية.** ومع ذلك، فإن الطرق التي استخدمتها أنا مع آخرين في عام ١٩٧٤ لدراسة الآثار الكمومية للجاذبية لم تكن قادرة على إجابة أسئلة مثل ما إذا كانت الفردانيات **تحدث أم لا في الجاذبية الكمية.**

ومنذ عام ١٩٧٥ وصاعداً، بدأت بتطوير نهج أكثر قوة للجاذبية الكمومية معتمداً على فكرة فاينمان حول جمع التواريخ [36]. سنناقش في المحاضرتين القادمتين الأجوبة **التي تقترحها هذه الفكرة.** سنرى أن ميكانيكا **الكم تسمح للكون بأن يبدأ بطريقة ليست بالضرورة أن تكون فردانية. وهذا يعني أنه ليس من الضروري أن تنهار قوانين الفيزياء عند بداية الكون.** إن حالة الكون ومحتوياته، مثلنا، تحددها قوانين الفيزياء تماماً، إلى الحد الذي **يحدده مبدأ عدم اليقين. لذلك هناك مساحة لحرية الإرادة.**

المحاضرة الخامسة

أصل ومصير الكون

طوال السبعينات وأنا أعمل على موضوع الثقوب السوداء. لكن، في عام ١٩٨١ تم إعادة إحياء اهتمامي بالأسئلة حول أصل الكون عندما حضرت مؤتمراً عن علم الكونيات في الفاتيكان. كانت الكنيسة الكاثوليكية قد ارتكبت خطأً كبيراً مع غاليليو عندما وضعت **يدها في العلم، معلنة أن الشمس هي من تدور حول الأرض. والآن، وبعد قرون، قررت الكنيسة أنه من الأفضل استدعاء عدد من الخبراء لتقديم المشورة بشأن علم الكونيات.**

في نهاية المؤتمر، مُنح الحضور بركة البابا. قال لنا إنه لمن الجيد دراسة تطور الكون بعد الانفجار العظيم، ولكن لا ينبغي لنا أن نستفسر عن الا**نفجار العظيم نفسه لأن تلك كانت لحظة الخلق، وبالتالي عمل الخالق.**

لقد كنت محظوظاً لأن البابا لم يفهم الموضوع الذي تكلمت فيه في المؤتمر. فلم يكن لدي رغبة في مشاركة مصير غاليليو؛ إنني متعاطف كثيراً مع غاليليو، ويرجع ذلك جزئياً إلى أنني ولدت بعد ثلاثمائة سنة بالضبط من **وفاته.**

نموذج الانفجار العظيم الساخن

لكي أشرح ما هي أفكاري، سأقوم أولاً بوصف التاريخ المقبول عموماً للكون، وفقاً لما يُعرف باسم " نموذج الانفجار العظيم الساخن". هذا النموذج يفترض أن الكون يمكن وصفه بواسطة نموذج فريدمان، والعودة حتى لحظة الا**نفجار العظيم.** في مثل هذه النماذج نجد أن درجة حرارة المادة والإشعاع تنخفض مع توسع الكون. وبما أن درجة الحرارة هي مقياس لمتوسط طاقة الجسيمات، فإن برودة الكون الناتجة من توسعه سيكون لها تأثير كبير **على المادة التي يحتويها.** في درجات الحرارة العالية جداً، ستتحرك الجسيمات بسرعة كبيرة جداً بحيث يمكنهما الهروب من القوة الناشئة بينها كالقوة النووية أو الكهرومغناطيسية [37]. ولكن **عندما يبرد فإنه من المتوقع أن تنجذب الجسيمات ناحية بعضها البعض.**

في الانفجار العظيم نفسه، كان حجم الكون صفراً، لذلك يجب أن يكون ساخناً بشكل لا نهائي. لكن مع توسع الكون، تنخفض درجة حرارة الإشعاع. بعد ثانية واحدة من الا**نفجار العظيم انخفضت درجة الحرارة إلى حوالي عشرة آلاف مليون درجة. هذه الحرارة تساوي عشرة أضعاف الحرارة الموجودة في مركز الشمس.** درجات الحرارة العالية مثل هذه لا يمكن الوصول لها إلا بتفجير **قنابل هيدروجينية.** في ذاك الوقت كان الكون يحتوي في الغالب على

فوتونات، إلكترونات، ونيوترينوات مع مضاداتها، **جنباً إلى جنب مع بعض البروتونات والنيوترونات.**

مع استمرار تمدد الكون وانخفاض درجة الحرارة، فإن معدل إنتاج الإلكترونات ومضاداتها (البويزترونات) من خلال **التصادمات سيقل عن المعدل الذي سيتم تدميرهما به.** لذلك فإن معظم الإلكترونات ومضاداتها سيتم فناؤهما لإنتاج المزيد من الفوتونات، وترك عدد قليل من الإلكترونات وراءها.

بعد حوالي مائة ثانية من الانفجار العظيم، تنخفض درجة الحرارة إلى ألف مليون درجة، والتي تعادل درجة حرارة باطن أشد النجوم سخونة. عند هذه الحرارة، لم يعد للبروتونات والنيوترونات طاقة كافية للهروب من جذب القوة النووية القوية. وسوف تبدأ في الالتحام مع بعضها البعض لإنتاج نواة ذرات الديوتريوم، أو الهيدروجين الثقيل، الذي يحتوي على بروتون واحد **ونيوترون واحد.** ومن ثم، تجمعت أنوية الديوتريوم مع المزيد من البروتونات والنيوترونات لصنع أنوية **الهيليوم، التي تحتوي على بروتونين ونيوترونين. وهناك توجد هناك كميات صغيرة من العناصر الأثقل، الليثيوم والبريليوم.**

يمكن أن نحسب، من خلال نموذج الانفجار العظيم الساخن، أن ربع البروتونات والنيوترونات قد تم تحويلهم **إلى نوى الهيليوم، جنباً إلى جنب مع كمية قليلة من الهيدروجين الثقيل وغيرها من العناصر. أما النيوترونات المتبقية فكانت تتحلل إلى بروتونات، وهي نوى ذرات الهيدروجين العادية. تتفق التنبؤات بشكل جيد جداً مع ما تم رصده تجريبياً.**

يتنبأ نموذج الإنفجار العظيم الساخن أنه ينبغي أن نكون قادرين على رصد الإشعاع الذي خلفته المراحل المبكرة الساخنة للكون. لكن درجة حرارة هذا الإشعاع قد انخفضت إلى بضع درجات فوق الصفر المطلق وذلك **بسبب تمدد الكون.** وهذا الإشعاع هو ما يفسر إشعاع الخلفية الميكروي الذي اكتشفه بنزياس **مع ويلسون عام ١٩٦٥.** لذلك نحن واثقون تماماً أننا نمتلك الصورة الصحيحة، على الأقل بعد حوالي ثانية واحدة من لحظة الا**نفجار العظيم.** في غضون ساعات قليلة فقط من الانفجار العظيم، كان إنتاج الهيليوم والعناصر الأخرى قد توقف. وبعد ذلك، على مدى السنوات المليون المقبلة أو نحو ذلك، بقي الكون يتمدد فقط، دون أن يحدث شيئٌ ذو أهمية. وفي نهاية المطاف، وبمجرد أن انخفضت درجة الحرارة إلى بضعة آلاف درجة، لم تعد البروتونات والإلكترونات تمتلك الطاقة الكافية للتغلب على قوة الجذب الكهرومغناطيسي بينها. لذا بدأت في التجمع لتشكل **الذرات.**

الكون ككل سيستمر في التمدد وبالتالي يستمر في البرودة. في المناطق التي تحوي كثافة أعلى من المتوسط، سينخفض فيها معدل التمدد بسبب قوة

جذب الجاذبية الزائدة. ومن شأن ذلك أن يوقف التمدد في بعض المناطق ويجعلها تبدأ في الانكماش. وكلما انكمشت، فإن قوة جذب الجاذبية القادمة من خارج هذه المناطق الكثيفة ستجعل ما فيها يبدأ في الدوران قليلاً. وكلما صغر حجم المناطق المنهارة أو المنكمشة على نفسها، ستدور حول نفسها بشكل أسرع، تماماً مثل المتزلجين على الجليد عندما يقومون بضم أيديهم للداخل فإنهم يدورون حول أنفسهم بسرعة أعلى. في نهاية المطاف، عندما تصغر تلك المناطق بشكل صغير بما فيه الكفاية، ستزداد سرعة الدوران بسرعة كافية حتى تحقق التوازن مع قوة الجاذبية. وبهذه الطريقة، تولد المجرات **الدوارة.**

ومع مرور الوقت، سيتفتت الغاز الموجود في المجرات إلى غيوم أصغر ستنهار بدورها تحت قوة جاذبيتها. وعندما تنكمش، ستزداد درجة حرارة الغاز حتى يصبح ساخناً بما فيه الكفاية لبدء التفاعلات النووية. وهذا من شأنه أن يحول الهيدروجين إلى هيليوم، والحرارة الخارجة سترفع من قوة الضغط إلى الخارج، وبالتالي سيتوقف انكماش السحب على نفسها. ستبقى على هذه الحالة لفترة طويلة مثل النجوم التي تشبه شمسنا، تحرق **الهيدروجين إلى هيليوم وتشع طاقة على شكل حرارة وضوء.**

النجوم ضخمة الكتلة ستحتاج إلى أن تكون أكثر سخونة لتحقيق التوازن مع قوة جاذبيتها القوية التي تحاول أن تكمش النجم للداخل أكثر فأكثر. وهذا من شأنه أن يجعل تفاعلات الاندماج النووي تعمل بسرعة أكبر مما يجعلها تستهلك الهيدرجين في أقل من مائة مليون سنة. بعدها ستنكمش للداخل بمعدل طفيف، وستبدأ **بتحويل الهيليوم إلى عناصر أثقل مثل الكربون أو الأكسجين. ومع ذلك، فإن هذا لن يطلق المزيد من الطاقة، لذلك سوف تحدث أزمة، كما وصفت ذلك في محاضرتي عن الثقوب السوداء.**

ما سيحدث بعد ذلك ليس واضحاً تماماً، لكن يبدو أنه من المرجح أن المناطق المركزية للنجم ستنهار إلى حالة كثيفة جداً، مثل النجم النيوتروني أو الثقب الأسود. قد تنفجر المناطق الخارجية للنجم في انفجار هائل يسمى سوبرنوفا، والتي من شأنها أن تضيء بمعدل أعلى من جميع النجوم الأخرى في المجرة. بعض العناصر الثقيلة التي سيتم إنتاجها في **نهاية حياة النجم، سيتم قذفها على شكل غاز في المجرة. وهذه ستوفر مادة خام لصنع الجيل القادم من النجوم.**

تحتوي شمسنا على ٢ في المئة من هذه العناصر الأثقل لأنها نجم من الجيل الثاني أو الثالث. لقد تشكلت قبل حوالي خمسة آلاف مليون سنة من سحابة من الغاز الدوار التي احتوت على حطام من عدة سوبرنوفا سابقة. معظم

الغاز في تلك السحابة ذهب لتشكيل الشمس أو ذهب بعيداً عنها. لذلك، توجد **كمية صغيرة من العناصر الثقيلة تجمعت مع بعضها لتشكل تلك الأجسام التي تدور الآن حول الشمس على شكل كواكب مثل الأرض.**

أسئلة مفتوحة

هذه الصورة للكون الذي بدأ ساخناً جداً ومن ثم بدأ يبرد نتيجة توسعه تتفق مع كل الأدلة التجريبية التي لدينا اليوم. ورغم ذلك، تترك هذه الصورة عدداً من الأسئلة الهامة دون إجابة. أولاً، لماذا كان المبكر ساخناً جداً؟ ثانياً، لماذا الكون متسق جداً على المدى الواسع؟ أي لماذا يبدو أن له نفس الشكل في جميع نقاط الفضاء وفي جميع الاتجاهات؟

ثالثاً، لماذا بدأ الكون بدرجة حرجة معينة من قوة التمدد بحيث يتجنب الانهيار على نفسه نتيجة قوة الجاذبية بين الأجرام؟ لو كان معدل التمدد بعد ثانية واحدة من الانفجار العظيم أقل بجزء واحد من مائة ألف مليون مليون، لكان الكون قد انكمش منذ ذلك الوقت ولن يصل إلى حجمه الحالي أبداً! ومن ناحية أخرى، لو كان معدل التوسع في ثانية واحدة **أكبر بنفس المقدار السابق، لكان الكون قد توسع بشكل مفرط كثيراً إلى درجة أنه لن تتكون المادة كما نراها اليوم.** سيبدو **خالياً تماماً!**

رابعاً، على الرغم من أن الكون متسق ومتجانس تماماً على المدى الواسع، إلا أنه يحتوي على كتل محلية من النجوم والمجرات. ومن المعتقد أن هذه التكتلات المحلية قد نشأت من الإختلافات الصغيرة في كثافة الكون المبكر من منطقة إلى أخرى. ما هو أصل هذه التقلبات في الكثافة؟

النظرية النسبية العامة، من تلقاء نفسها، لا يمكن أن تفسر هذه الخصائص أو تجيب على هذه الأسئلة. ذلك لأن هذه النظرية تتنبأ بأن الكون بدأ من كثافة لا متناهية في فردانية الإنفجار العظيم، لذلك **ستنهار.** لا يمكن التنبؤ بما سيخرج من الفردانية. وكما قد شرحت من قبل، هذا يعني أنه يمكننا حذف أي أحداث قبل الانفجار العظيم من النظرية، لأنه لا يمكن أن يكون لها أي تأثير على ما نرصده. الزمكان سيكون له حدود، بداية في الا**نفجار العظيم.** لماذا يجب على الكون أن يبدأ بانفجار عظيم بمثل هذه الطريقة التي تؤدي إلى الحالة التي نلاحظها اليوم؟ لماذا الكون متسق جداً، وتوسعه بالمعدل الحرج بالضبط لتجنب الانهيار؟ يمكن للمرء أن يشعر بالسعادة حول ذلك، حيث يمكن تكوين عدة تصورات أولية للكون أدت لتشكله **بالشكل الذي نلاحظه اليوم.**

إذا كان هذا هو الحال، فإن الكون الذي تطور من شروط أولية عشوائية يجب أن يحتوي على عدد من المناطق التي تشبه تلك التي نلاحظها. وقد تكون هناك أيضاً مناطق مختلفة جداً. ومع ذلك، فإن هذه المناطق قد تكون ملائمة لتشكل النجوم والمجرات. هذه هي الشروط الأساسية اللازمة لتطور حياة ذكية، على الأقل كما نعرفها. وهكذا، **فإن هذه المناطق لن تحتوي على كائنات لمراقبة أنها مختلفة.**

عندما ينظر المرء إلى علم الكونيات، فيجب الأخذ في عين الاعتبار مبدأ الاختيار الذي ينص على أننا نعيش في منطقة في الكون مناسبة جداً لتطور حياة ذكية. وتسمى هذه النظرة البدائية أحياناً بالمبدأ الإنساني (أو الأنثروبي). لنفترض، من ناحية أخرى، أن الحالة الأولية للكون كان لابد من اختيارها بعناية فائقة لتؤدي إلى ما نراه حولنا اليوم. عندها سيكون من غير المحتمل أن يحتوي الكون على أي مناطق أخرى **تظهر فيها الحياة.**

في نموذج الانفجار العظيم الحار، الذي وصفته سابقاً، لم يكن هناك وقت كافٍ للحرارة في الكون المبكر أن تنساب من منطقة إلى أخرى. وهذا يعني أن المناطق المختلفة في الكون كان يجب أن تكون قد بدأت بالضبط بنفس درجة الحرارة، وذلك لتفسير حقيقة أن الإشعاع المايكروني **الكوني له نفس درجة الحرارة في أي اتجاه ننظر. أيضاً، كان يجب أن يتم اختيار معدل التوسع الأولي للكون بدقة شديدة حتى لا ينهار الكون على نفسه.** في الواقع، هذا يعني أن الحالة الأولية للكون يجب أن يكون قد تم اختيارها بعناية فائقة إذا كان نموذج الانفجار العظيم الساخن صحيحاً بالعودة إلى بداية **الزمن.** سيكون من الصعب جداً أن نوضح لماذا كان ينبغي أن يبدأ الكون بهذه الطريقة فقط، إلا بفعل خالق **كان يهدف إلى خلق كائنات مثلنا.**

نموذج التضخم

لتجنب هذه الصعوبة في المراحل المبكرة جداً من الانفجار العظيم الساخن، قدم آلان غوث من معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا نموذجاً جديداً. حيث اقترح أن العديد من التصورات الأولية الممكنة للكون المبكر جداً يمكن أن تتطور إلى شيئ يشبه الكون الحالي، في حال مر الكون المبكر بمرحلة أسية سريعة جداً من التمدد. هذا التمدد السريع يسمى "التضخم"، وهو مصطلح يشبه مصطلح التضخم في الأسعار الذي يحدث بدرجة أكبر أو أقل في كل بلد. ربما كان الرقم القياسي العالمي لتضخم الأسعار قد حدث في ألمانيا بعد الحرب العالمية الأولى، حيث ارتفع سعر رغيف الخبز من أقل من مارك واحد

إلى ملايين من المارك في غضون أشهر قليلة. لكن التضخم الذي نعتقد أنه قد حدث في حجم الكون كان أكبر بكثير من ذلك. مليون مليون مليون مليون **مرة فقط في جزء صغير من الثانية. بالطبع، كان ذلك قبل الحكومة الحالية.**

اقترح غوث أن الكون قد بدأ بانفجار عظيم ساخن. ومن المتوقع أن تكون القوة النووية القوية والضعيفة والكهرومغناطيسية كانت كلها موحدة في قوة واحدة، وذلك **عند درجات الحرارة العالية جداً. عندما يتوسع الكون، فإنه سيبرد، وستنخفض بالتالي طاقة الجسيمات.** في نهاية المطاف سيكون هناك ما يسمى مرحلة التحول الطوري [38]**، وسينكسر التناظر بين قوى الكون المختلفة.** القوة القوية ستنفصل وتصبح مميزة عن القوتين الضعيفة و**الكهرومغناطيسية.** أحد الأمثلة الشائعة عن التحول الطوري **هو تجمد الماء عند تبريده.** الماء بحالته السائلة يكون متناظراً، حيث له نفس الشكل في كل نقطة وفي كل اتجاه. لكن عند تجمده ستتشكل بلورات الثلج، وسيكون لهما مواقع محددة وستصطف في نفس الاتجاه. وهذا يكسر تناظر **الماء.**

في حالة الماء، إذا كنا حذرين، فيمكننا أن نوصله إلى ما يسمى حالة "التبريد الفائق **Supercooling**". وهي عملية يتم فيها خفض درجة حرارة غاز أو سائل إلى ما تحت درجة التجمد "**0** درجة مؤية" **بدون تكون ثلج وتحوله إلى الحالة الصلبة.** اقترح غوث أن الكون ربما قد تصرف بطريقة مماثلة: تنخفض درجة الحرارة إلى أقل من القيمة الحرجة دون أن ينكسر **التناظر بين القوى المختلفة. إذا حدث ذلك، فإن الكون سيكون في حالة غير مستقرة، مع امتلاكه لطاقة أكبر مما لو كان التماثل قد تم كسره.** هذه الطاقة الإضافية الخاصة يمكن أن يكون لها تأثير جاذبي معاكس **antigravitational effect. ستعمل بالضبط مثل الثابت الكوني.**

قدم آينشتاين الثابت الكوني في النظرية النسبية العامة عندما كان يحاول بناء نموذج ثابت للكون. لكن، في حالتنا هنا، سيتمدد الكون. وبالتالي فإن التأثير الطارد لهذا الثابت الكوني قد جعل الكون يتمدد بمعدل متزايد. وحتى المناطق التي فيها جسيمات مادية أكثر من المتوسط، فإن قوة الجاذبية بينها سيتم التغلب عليها **بواسطة تنافر الثابت الكوني الفعال. وبالتالي، فإن هذه المناطق ستتمدد أيضاً بطريقة تضخمية متسارعة.**

ومع تمدد الكون، بدأت الجسيمات المادية بالابتعاد عن بعضها البعض. مما ترك كوناً متمدداً **بالكاد يحتوي على أي جسيمات.** وأي تشوهات في الكون يمكن ببساطة أن تتمدد بفعل تضخم الكون، بالضبط مثل إزالة التجاعيد الموجودة على سطح بالونة **عند نفخها بقوة كبيرة جداً.** وهكذا، فإن الحالة الحالية الملساء والمتسقة للكون يمكن أن تكون قد تطورت من عدة حالات أولية

ممكنة غير متسقة للكون. ومعدل التمدد يميل أيضاً إلى القيمة الحرجة اللازمة **لتجنب الانهيار الجاذبي.**

وعلاوة على ذلك، فإن فكرة التضخم يمكن أن تفسرأيضاً سبب وجود الكثير من المادة في الكون. هناك تقريباً 10^{80}من الجسيمات المنتشرة في مناطق من الكون يمكن أن نرصدها. من أين جاءت جميعاً؟ الجواب يكمن في نظرية الكم، حيث الجسيمات يمكن أن تنشأ من الطاقة الصرفة على شكل أزواج من جسيم/جسيم مضاد. لكن هذا يجرنا إلى سؤال من أين جاءت الطاقة إذن؟ الجواب هو أن الطاقة الكلية للكون تساوي صفراً بالضبط.

المادة في الكون مصنوعة من طاقة موجبة. لذلك، المادة دائماً ما تجذب بعضها البعض عن طريق قوة الجاذبية. قطعتان من المادة قريبتان من بعضهما البعض سيكون لهما طاقة أقل مما لو كانت **بعيدين عن بعضهما البعض. السبب ببساطة هو أنك بحاجة إلى بذل طاقة لتفصل القطعتين عن بعضهما.** عليك أن تسحب ضد قوة الجاذبية التي تجذبهما لبعض. وهكذا، بمعنى ما، نقول إن مجال **الجاذبية له طاقة سالبة.** في حال الكون كله، يمكن أن نبرهن على أن هذه الطاقة السالبة للجاذبية تُلغي بالضبط الطاقة **الموجبة للمادة.** وبالتالي تكون الطاقة الكلية للكون كله تساوي صفراً.

الآن، ضعف الصفر هو صفر. وبالتالي يمكن للكون أن يضاعف كمية الطاقة الموجبة للمادة وأيضاً يضاعف، في نفس الوقت، كمية الطاقة السالبة دون أي انتهاك **لمبدأ حفظ الطاقة. هذا لا يحدث في التمدد الطبيعي للكون الذي تنخفض فيه كثافة الطاقة والمادة كلما أصبح الكون أكبر. ولكن، يحدث ذلك في حال التمدد التضخمي، وذلك لأن كثافة الطاقة لحالة التبريد الفائق تبقى ثابتة في حين أن الكون يتمدد.** عندما يتضاعف الكون في حجمه، ستتضاعف كل من الطاقة الموجبة للمادة مع الطاقة السالبة للجاذبية على حد سواء، بحيث تبقى الطاقة الكلية صفراً. خلال مرحلة التضخم، يزيد الكون من حجمه بشكل كبير جداً. وبالتالي، فإن المقدار الكلي للطاقة **المتوفرة لصنع جسيمات تصبح كبيرة جداً.** وكما قال غوث "يُقال إنه لا توجد وجبة غداء مجانية، **لكن الكون هو أكبر وجبة غداء مجانية".**

نهاية التضخم

الكون لا يتوسع بطريقة تضخمية اليوم. وبالتالي، يجب أن تكون هناك آلية من شأنها أن تلغي فعالية قيمة الثابت الكوني الكبيرة المسببة للتضخم. وهذا من

شأنه أن يغير من معدل توسع الكون من تسارع إلى تباطؤ بسبب الجاذبية، كما نرى اليوم. كلما تمدد الكون وبرد، فإننا نتوقع أنه في نهاية المطاف سيتم كسر التناظر بين قوى الكون، بالضبط كما يتجمد الماء فائق البرودة **في النهاية.** عندها سيتم تحرير الطاقة الزائدة التي كانت مخزنة في حالة التناظر الغير مكسور ومن ثم ستُسَخن تلك الطاقة **الكون.** بعدها سيبدأ الكون في التمدد العادي ويبرد، تماماً كما يُوصف في نموذج الانفجار العظيم الساخن. وبذلك، يكون لدينا تفسير معقول حول سبب تمدد الكون في المعدل الحرج بالضبط ولماذا المناطق المختلفة من الكون **لها نفس درجة الحرارة.**

في اقتراح غوث الأصلي، كان من المفترض أن يحدث التحول إلى التناظر المكسور فجأة، مثل ظهور بلورات الثلج في ماء فائق البرودة. كانت الفكرة هي أن "فقاعات" المرحلة الجديدة من التناظر المكسور قد تكونت في المرحلة القديمة، مثل فقاعات البخار المحاطة بالماء المغلي. كان من المفترض أن تتمدد هذه الفقاعات وتتحد ببعضها البعض حتى يصبح الكون كله في مرحلة جديدة. كانت المشكلة، كما أوضحت أنا وعدة أشخاص آخرين، هو أن الكون يتمدد بسرعة كبيرة مما يجعل تلك الفقاعات تتباعد عن بعضها البعض بسرعة أكبر من أن يُسمح لها بأن تتحد. **وبالتالي سيترك ذلك الكون في حالة غير متسقة جداً، مع وجود بعض المناطق التي لها تناظر بين مختلف القوى. مثل هذا النموذج لن يتوافق مع ما نراه.**

في اكتوبر عام ١٩٨١ ذهبت إلى موسكو لحضور مؤتمر حول الجاذبية الكمومية. بعد المؤتمر، ألقيت ندوة حول النموذج التضخمي ومشاكله في معهد ستيرنبيرغ الفلكي. أحد الحضور، كان الشاب الروسي، أندريه ليندي. قال أن صعوبة عدم اتحاد الفقاعات ببعضها البعض يمكن تجنبها إذا كانت الفقاعات كبيرة **جداً. في هذه الحالة، يمكن احتواء منطقتنا من الكون داخل فقاعة واحدة.** ولكي يعمل ذلك، يجب أن يحدث التغير من التناظر إلى التناظر المكسور ببطء شديد داخل الفقاعة، وهذا ممكن تماماً بحسب نظريات التوحيد الكبرى [39].

كانت فكرة ليندي حول الكسر البطيئ للتناظر جيدة جداً، ولكنني أوضحت أن فقاعاته ستكون أكبر من الكون في ذلك الوقت، وأن ذلك سيُكسَر في كل مكان في نفس الوقت، وليس فقط داخل الفقاعات. وهذا من شأنه أن يؤدي إلى كون متسق، كما نلاحظه. كان نموذج كسر التناظر البطيئ محاولة جيدة لشرح سبب كون الكون على ماهو عليه. ومع ذلك، بينت أنا وعدة أشخاص آخرين أن ذلك سيترك تقلبات حرارية أكبر بكثير في إشعاع الخلفية الميكروني الكوني المرصود. أيضاً، أعمال لاحقة ألقت ظلالها من الشك حول صحة أو عدم صحة نوع النقل الطوري **الذي حدث في الكون المبكر.** في عام

١٩٨٣ اقترح ليندي نموذجاً أفضل، يسمى نموذج التضخم الفوضوي. هذا النموذج لا يعتمد على التحولات الطورية، ويمكن أن يعطينا الحجم الصحيح **للتقلبات الحرارية لإشعاع الخلفية.** لقد أظهر نموذج التضخم أن الحالة الراهنة للكون يمكن أن تنشأ من عدد كبير جداً من الحالات الأولية المختلفة للكون. ومع ذلك، لا يمكن أن تؤدي كل حالة أولية **إلى الكون الذي نلاحظه اليوم.** لذلك حتى نموذج التضخم لا يخبرنا لماذا كانت الحالات الأولية بهذا الشكل المحدد الذي نرصده اليوم؟ هل يجب علينا أن نعود إلى المبدأ البشري لتفسير ذلك؟ هل كان كل شيئ مجرد فرصة حظ؟ يبدو **ذلك ضرب من اليأس، وتقويض لآمالنا في فهم النظام الأساسي للكون.**

الجاذبية الكمومية

للتنبؤ بالطريقة التي يجب أن يبدأ بها الكون، نحتاج إلى قوانين تظل صامدة عند بداية الزمن. لو كانت النظرية النسبية العامة الكلاسيكية صحيحة، فإن نظرية الفردانية تتنبأ بأن بداية الزمن ستكون من نقطة لا متناهية الكثافة والتقوس. كل قوانين العلم المعروفة ستنهار عند هذه النقطة. يمكن لنا أن نفترض أن هناك قوانيناً جديدة تصمد في الفردانيات، لكن سيكون من الصعب جداً صياغة هذه القوانين حتى ولو بطريقة سيئة، ولن يكون هناك دليل من الملاحظات التجريبية حول ما قد يمكن أن **يكون شكل هذه القوانين.** ومع ذلك، فإن ما تشير إليه نظريات الفردانية هو أن مجال الجاذبية يصبح قوياً بحيث تصبح فيها آثار الجاذبية الكمومية مهمة: النظرية الكلاسيكية لم تعد وصفاً جيداً للكون. لذلك يجب أن نستخدم نظرية الكم للجاذبية لمناقشة المراحل المبكرة جداً في الكون. وكما سنرى، فمن الممكن أن تجعل النظرية الكمية القوانين العادية للعلم صامدة في كل مكان، بما في ذلك بداية الزمن. ليس من الضروري فرض قوانين جديدة للفردانيات، لأنه لا يلزم وجود أي فردانيات **في نظرية الكم.**

ليس لدينا حتى الآن نظرية كاملة ومتسقة تجمع بين ميكانيكا الكم والجاذبية. ومع ذلك، فنحن واثقون تماماً من بعض المميزات التي يجب أن تملكها مثل هذه النظرية الموحدة. واحدة من طرق التوحيد ينبغي أن تتضمن صياغة فاينمان لنظرية الكم والتي تسمى **جمع التواريخ.** في هذه المقاربة، الجسم الذي ينتقل من **A** إلى **B** لا يكون له مجرد تاريخ أو مسار واحد كما هو الحال في النظرية الكلاسيكية. بدلاً من ذلك، فمن المفترض أن تتبع الجسيمات كل المسارات الممكنة في الزمكان. كل تاريخ أو مسار محدد يرتبط بعددين، واحد **يمثل حجم الموجة والآخر طورها.**

إن احتمالية مرور جسيم ما في نقطة معينة يتم حسابها عبر جمع الموجات المرتبطة بكل مسار أو تاريخ ممكن أن يمر بهذه النقطة. وعندما نحاول فعلياً إجراء هذا الحساب، نواجه مشاكل تقنية شديدة الصعوبة. الطريقة الوحيدة للالتفاف حول هذه الصعوبة يمكن وصفها بالطريقة الغريبة التالية: يجب أن نجمع مسارات أو تواريخ الجسيم في الزمن التخيلي بدلاً **من الزمن الحقيقي.**

قد يبدو الزمن التخيلي بمثابة خيال علمي، ولكنه في الواقع مفهوم رياضي محدد جيداً. لتجنب الصعوبات التقنية في طريقة فاينمان حول جمع التواريخ، يجب أن نستخدم الزمن التخيلي، وذلك له تأثير مثير للإهتمام على الزمكان: يختفي الفرق بين الزمان والمكان كلياً. في الزمكان، يقال للأحداث التي تملك قيماً تخيلية في محور الزمان أنها اقليدية لأن المتري له قيم **موجبة.**

في الزمكان الإقليدي لا يوجد فرق بين اتجاه الزمن واتجاهات المكان. من ناحية أُخرى، في الزمكان الحقيقي، الذي توصف فيه الأحداث بقيم حقيقية على محور الزمان، من السهل أن نفرق بين الزمان والمكان. اتجاه الزمن يقع داخل مخروط الضوء، واتجاهات المكان تقع في الخارج. يمكن لأحدهم أن يعتبر أن استخدام الزمن التخيلي مجرد أداة رياضية أو حيلة لحساب أشياء موجودة في الزمكان الحقيقي. ومع ذلك، قد يكون هناك ما هو أكثر من ذلك. قد يكون الزمكان الإقليدي هو المفهوم الأكثر دقة وما نعتقد أنه زمكان حقيقي هو مجرد شيئ **في خيالنا.**

عندما نطبق طريقة فاينمان في جمع التواريخ على الكون برمته، فإن منحنى الزمكان الكامل هو ما يعادل مسار أو تاريخ الجسيم العادي، وسيمثل ذلك تاريخ الكون كله. للأسباب التقنية المذكورة سابقاً، هذه الزمكانات المنحنية يجب أن تكون **اقليدية.** وهكذا يصبح الزمن تخيلي ولايمكن **تمييزه عن اتجاهات المكان.** لحساب احتمال العثور على زمكان حقيقي له خاصية معينة، يجب **إضافة جميع التواريخ في الزمن التخيلي التي لديها تلك الخاصية. ويمكن بعدها أن نعمل على ما يمكن أن يكون التاريخ المحتمل للكون في الزمن الحقيقي.**

حالة اللاحدود

في النظرية الكلاسيكية للجاذبية، التي تقوم على الزمكان الحقيقي، هناك طريقتان فقط يمكن للكون أن يتصرف على نحوهما. فإما أنه كان موجوداً منذ الأزل، أو أنه له بداية فردانية في الزمن في وقت ما فيما مضى. في الحقيقة، تبين نظريات الفردانية أن الاحتمال الثاني هو المرجح أكثر. من ناحية أُخرى،

في نظرية الجاذبية الكمومية، تنشأ احتمالية ثالثة. لأننا حينما نستخدم زمكان اقليدي، بحيث يكون اتجاه الزمن على قدم المساواة مع اتجاهات المكان، فمن الممكن أن يكون الزمكان محدوداً في المدى وأيضاً دون أن يكون له فردانيات التي تكون **حدود أو حواف. سيكون الزمكان مثل سطح الأرض، فقط مع بعدين اثنين أكثر.** سطح الأرض محدود في المدى لكن ليس له حدود أو حواف. فإذا أبحرت إلى الغروب، فلن تسقط في حافة أو فردانية. أعرف ذلك، لأنني قد سافرت **في جميع أنحاء العالم.**

وسواء كان الزمكان الإقليدي يعود إلى زمن تخيلي سرمدي أو له بداية فردانية، فمازال لدينا نفس المشكلة الموجودة في النظرية الكلاسكية لتحديد الحالة الأولية للكون. قد يعرف الله كيف بدأ الكون، لكننا لا يمكننا إعطاء ميزة لطريقة ما بدأ بها الكون عن أخرى. من ناحية أخرى، فتحت نظرية الجاذبية الكمية إمكانية أخرى، وهي عدم وجود حدود للزمكان. وبالتالي، لن تكون هناك حاجة للتفكير في الحدود. لن تكون هناك فردانيات بحيث تنهار قوانين العلم ولا توجد أي حافة للزمكان بحيث يضطر المرء إلى الاحتكام لله أو قوانين جديدة لوضع شروط على حافة الزمكان. يمكن القول أن: "شرط حدود الكون هو أن ليس له حدود". سيكون الكون مكتفياً ذاتياً تماماً ولا يتأثر بأي شيئ خارج نفسه. لن يتم خلقه ولن يتم تدميره. سيكون مجرداً تماماً.

كان ذلك في مؤتمر الفاتيكان عندما طرحت لأول مرة فكرة **احتمال أن الزمان والمكان معاً يشكلون سطحاً محدوداً في الحجم لكن دون أن يكون له أي حد أو حافة.** كانت ورقتي رياضية إلى حد ما، لذلك، لم يلاحظ في ذلك الوقت آثارها على دور الله في خلق الكون. في أثناء فترة مؤتمر الفاتيكان، لم أعرف كيفية استخدام فكرة اللاحدود **لوضع تنبؤات حول الكون.** ومع ذلك، قضيت الصيف التالي في جامعة كاليفورنيا، سانتا باربارا. حيث هناك، صديق وزميل لي، جيم هارتل**، عمل معي حول الشروط التي يجب أن يمتلكها الكون ليصبح بلا حدود.**

ويجب أن أُؤكد أن هذه الفكرة القائلة بأن الزمان والمكان يجب أن يكونا محدودين بدون حواف هي مجرد اقتراح نظري. حيث لا يمكن استنتاجها من مبدأ آخر. فمثل أي نظرية علمية أخرى، قد يتم طرحها في البداية لأسباب جمالية أو ميتافيزيقية، لكن يبقى الاختبار الحقيقي في مطابقة التنبؤات مع الملاحظات التجريبية. ومع ذلك، يصعب تطبيق ذلك في حال نظرية الجاذبية الكمية، وذلك لسببين: أولاً، نحن لسنا متأكدين بعد بالضبط من شكل النظرية التي تنجح في دمج النسبية العامة مع ميكانيكا الكم، رغم أننا نعرف الكثير جداً عن شكل النظرية التي يجب أن تؤدي هذا الغرض. ثانياً، أي نموذج سيصف الكون كله بالتفصيل سيكون معقداً جداً من الناحية الرياضية بالنسبة لنا حتى

نكون قادرين على حساب التنبؤات الدقيقة له. وبالتالي، يجب أن نضع تقريبات، لكن مع ذلك، ستبقى مشكلة استخراج تنبؤات دقيقة صعبة للغاية.

تحت اقتراح حالة اللاحدود، يجد المرء نفسه أن فرصة اتباع الكون معظم التواريخ الممكنة هي فرصة مهملة لا تُذكر. لكن توجد هناك عائلة من التواريخ لها احتمالية أكثر من غيرها. هذه التواريخ يمكن تصورها مثل سطح الأرض، بحيث يمثل القطب الشمالي الزمن التخيلي، وحجم دائرة العرض سيمثل الحجم المكاني للكون. يبدأ الكون في القطب الشمالي كنقطة واحدة، ثم وبينما نتحرك جنوباً، تصبح دائرة العرض أكبر، متطابقةً مع توسع الكون في الزمن التخيلي. وسيصل الكون إلى أكبر حجم في خط الاستواء، وسينكمش حجمه مرة أخرى إلى نقطة واحدة عند القطب الجنوبي. **وعلى الرغم من أن الكون سيكون له حجم صفري في القطبين الشمالي والجنوبي، إلا أن فردانية هذه النقاط لن تكون أكثر فردانية من فردانية القطبين الشمالي والجنوبي على الأرض. إن قوانين العلم ستصمد عند بداية الكون، تماماً كما تصمد في القطبين الشمالي والجنوبي للأرض.**

غير أن تاريخ الكون في الزمن الحقيقي سيبدو مختلفاً جداً، فيبدو أنه يبدأ بأصغر حجم، والذي يعادل أكبر حجم في الزمن التخيلي. ثم يبدأ بعدها الكون في التمدد في الزمن الحقيقي مثل نموذج التضخم. وبذلك، لن يضطر المرء الآن إلى افتراض أن الكون قد تم خلقه بطريقة أو بحالة معينة مطلوبة. سيتوسع الكون إلى حجم كبير جداً، ولكن في نهاية المطاف سوف ينهار مرة أخرى على نفسه إلى ما يبدو وكأنه فردانية في الزمن الحقيقي. وهكذا، بمعنى ما، ما زلنا محكومين جميعاً بمصيرنا، حتى لو ابتعدنا عن الثقوب السوداء. فقط إذا تصورنا الكون من منطلق الزمن التخيلي فلن تكون هناك أي فردانيات.

لقد أظهرت نظريات التفرد في النسبية العامة الكلاسيكية أن الكون يجب أن تكون له بداية، وهذه البداية يجب أن توصف بنظرية الكم. وهذا بدوره قد أدى إلى فكرة أن الكون يمكن أن يكون منتهياً في الزمن التخيلي، لكن دون حدود أو فردانيات. لكن عندما نعود إلى الوراء بالزمن الحقيقي الذي نعيش فيه سنجد أن الفردانيات تظهر في نهاية المطاف. ورائد الفضاء المسكين الذي يقع داخل ثقب أسود سينتهي بنهاية لزجة، طالما أن هناك فردانيات أيضاً في الثقوب السوداء. فقط إذا أمكنه أن يعيش في زمن تخيلي فإنه لن يواجه أي فردانيات.

قد يوحي ذلك أن ما يسمى الزمن التخيلي هو في الحقيقة الزمن الأساسي، وأن ما نسميه الزمن الحقيقي هو مجرد شيئ ما قد خلقناه في عقولنا. في

الزمن الحقيقي، للكون بداية ونهاية على شكل فردانيات تشكل حدود الزمكان وعندهما تنهار قوانين العلم. لكن في الزمن التخيلي، لا يوجد هناك فردانيات أو حدود. لذلك ربما ما نسميه بالزمن التخيلي هو أكثر أساسية، وما نسميه بالزمن الحقيقي هو فقط مجرد فكرة قد اخترعناها **لتساعدنا في وصف ما نظن أنه يمثل الكون. ولكن وفقاً للمقاربة التي شرحتها في المحاضرة الأولى، النظرية العلمية هي فقط نموذج رياضي صنعناه لنصف الملاحظات التجريبية. هو موجود فقط في أذهاننا. لذلك ليس له أي معنى أن نسأل: من هو الحقيقي؛ الزمن الحقيقي أم التخيلي؟ المهم هو أي نموذج يقدم وصفاً أكثر فائدة.**

ويبدو أن فرض حالة اللاحدود يتنبأ بأنه، في الزمن الحقيقي، يجب أن يتصرف الكون مثل نماذج التضخم. هناك مشكلة مثيرة للاهتمام بشكل خاص وهي الانحرافات الصغيرة الشاذة عن **التوزيع المتسق للكثافة في الكون المبكر.** يُعتقد أن هذه الانحرافات هي من أدت لتشكيل أول المجرات، ثم النجوم، وأخيراً كائنات مثلنا. إن مبدأ عدم اليقين يدلنا على أن الكون المبكر لا يمكن أن يكون متسقاً **كلياً. بدلاً من ذلك، كان يجب أن يكون هناك بعض اللايقين أو التقلبات في مواقع وسرعات الجسيمات.** باستخدام شرط اللاحدود، **نجد أن الكون كان يجب أن يبدأ بالحد الأدنى من عدم التناسق الذي يسمح به مبدأ عدم اليقين.**

وخضع الكون بعد ذلك لحقبة من التوسع السريع، كما هو الحال في نماذج التضخم. وخلال هذه الفترة، يمكن تضخيم هذه الانحرافات الشاذة حتى تصبح كبيرة بما فيه الكفاية لشرح أصل المجرات. وهكذا، فإن جميع التركيبات المعقدة التي نراها في الكون يمكن تفسيرها بشرط اللاحدود **للكون ومبدأ عدم اليقين لميكانيكا الكم.**

فكرة أن المكان والزمان قد يشكلا سطحاً مغلقاً بدون حدود لها أيضاً آثار عميقة على دور الله في ادارة شؤون الكون. مع نجاح النظريات العلمية في وصف الأحداث، بدأ كثير من الناس يؤمنون بأن الله قد سمح للكون بأن يتطور وفق مجموعة من القوانين المحددة. **لا يبدوا أنه يتدخل في الكون لكسر هذه القوانين.** ومع ذلك، فإن هذه القوانين لا تخبرنا بماذا يجب أن يكون شكل الكون عندما بدأ. لا يزال الأمر متروكاً لله حتى يختتم عمل الساعة الكونية ويختار كيفية بدء تشغيلها. طالما كان للكون بداية فردانية، فيمكن للمرء أن يفترض أنه قد تم خلقه من قبل وكالة خارجية. لكن إذا كان الكون فعلاً مكتفياً بإحتواء ذاته، دون حدود أو حواف، **فلن يكون بالإمكان خلقه أو تدميره، سيكون ببساطة موجوداً.** إذاً ماذا سيتبقى بعد ذلك للخالق؟

المحاضرة السادسة

اتجاه الزمن

في كتابه، **The Go Between**، كتب هارتلي: " إن الماضي بلد أجنبي، إنهم يتصرفون بشكل مختلف، ولكن لماذا يختلف الماضي عن المستقبل؟ لماذا نتذكر الماضي، ولكن لا نتذكر المستقبل؟" بعبارة أُخرى، لماذا يتقدم الوقت؟ هل هذا مرتبط بحقيقة أن الكون آخذ في التوسع؟

تناظر CPT

قوانين الفيزياء لا تميز بين الماضي والمستقبل. وعلى نحو أدق، فإن قوانين الفيزياء لا يتغير شكلها تحت إجراء عدة عمليات تعرف باسم **CPT.** حيث **C** تعني تغيير الجسيم إلى مضاده، **P** تعني صورة مرآة بحيث يتم تبديل اليمين باليسار، و **T** تعني عكس اتجاه حركة كل الجسيمات، أي عكس اتجاه الزمن [40]. قوانين الفيزياء التي تحكم سلوك المادة في كل الحالات العادية لا يتغير شكلها لو قمنا بإجراء التحويلين **C** و **P.** بعبارة أُخرى، ستكون الحياة لها نفس الشكل بالنسبة لسكان كوكب آخر لهم صورتنا المرآتية **ومصنوعين من مادة مضادة.** إذا التقيت شخصاً ما من كوكب آخر ويريد أن يصافحك بيده اليسرى، فلا تصافحه. قد يكون مصنوعاً **من المادة المضادة. ستختفي أنت وهو في ومضة هائلة من الضوء.** إذا كانت قوانين الفيزياء لا تتغير تحت تحويلات **C** و **P**، وأيضاً تحت تحويلات **C** و **P** و **T**، فإنها يجب ألا تتغير أيضاً تحت تحويل **T**

بمفرده. ومع ذلك، هناك فرق كبير بين اتجاه الزمن إلى الأمام وإلى الخلف في الحياة **العادية.** تخيل كوب من الماء يسقط من أعلى منضدة وينكسر إلى قطع صغيرة على الأرض. لو قمت بتصوير فيديو لهذه العملية فيمكنك بسهولة أن تعرف إذا ما كان يتم تشغيله إلى الأمام أو إلى الخلف. فلو أشغلته إلى الخلف، فسترى قطع الكوب المتناثرة على الأرض تُجمع نفسها وتقفز لتشكل كوباً كاملاً **على الطاولة. يمكنك أن تقول بأن الفيديو يجري إلى الخلف لأن هذا النوع من السلوك لم يلاحظ أبداً في الحياة العادية. فلو كان الأمر كذلك، لترك مصنعي الأواني الفخارية عملهم.**

أسهم الزمن

التفسير الذي يُعطى لنا عادة حول سبب عدم رؤيتنا لأكواب مكسورة تقفز مرة أخرى إلى الطاولة هو أن ذلك ممنوع بواسطة القانون الثاني للديناميكا الحرارية. ينص هذا القانون على أن الفوضى أو الإنتروبيا **تزداد مع مرور الوقت. بعبارة أخرى، هو قانون مورفي الذي يقول بأن الأمور تنتقل من سيئ إلى أسوء. كوب سليم على الطاولة هو حالة عالية من الترتيب، لكن كسره على الأرض هو حالة من الفوضى أو عدم الترتيب.** وبالتالي يمكن الانتقال من حالة الكوب الكامل في الماضي إلى حالة الكوب ا**لمكسور على الأرض في المستقبل، ولكن ليس العكس.**

زيادة الفوضى أو الإنتروبيا مع مرور الزمن هو مثال لما يسمى سهم الزمن، وهو ما يحدد اتجاه الوقت ويميز الماضي عن المستقبل. هناك على الأقل ثلاثة أسهم مختلفة للزمن. أولاً، هناك السهم الديناميكي الحراري للزمن؛ وهو اتجاه الزمن بحيث تزداد درجة الفوضى أو الإنتروبيا. ثانياً، هناك السهم النفسي للزمن؛ وهو الاتجاه الذي نشعر به بمرور الوقت، اتجاه الزمن بحيث نتذكر الماضي وليس المستقبل. ثالثاً، هناك السهم الكوني للزمن؛ وهو اتجاه الزمن **المرتبط بتمدد الكون بدلاً من تقلصه.**

سوف أُجادل بأن سهم الزمن النفسي يتم تحديده بواسطة سهم الديناميكا الحرارية وبالتالي فإن هذين السهمين دائماً ما يشيران إلى نفس الا**تجاه.** إذا افترضنا صحة فرضية اللاحدود للكون، فإنها سترتبط بالسهم الكوني للزمن، على الرغم من أنها قد لا تشير إلى نفس الاتجاه. ومع ذلك، سأُجادل بأنه فقط عندما نتفق مع كائنات ذكية على السهم الكوني للزمن، فيمكنها أن تسأل هذا السؤال: لماذا تزداد الفوضى في نفس اتجاه الزمن بحيث يتمدد الكون؟

السهم الديناميكي الحراري

سأتحدث أولاً عن السهم الديناميكي الحراري للزمن. يستند القانون الثاني للديناميكا الحرارية على حقيقة أن هناك العديد من الحالات الغير مرتبة أكثر بكثير من الحالات المرتبة. على سبيل المثال، تخيل وجود قطع من أحجية الصور المقطوعة في صندوق. هناك فقط ترتيب واحد لهذه القطع بحيث تعطي الصورة كاملة. لكن من ناحية أخرى، هناك عدد كبير جداً من الاحتمالات التي قد **تكون فيها القطع غير مرتبة ولا تصنع صورة.**

لنفترض أن الأنظمة تبدأ بأحد الحالات المرتبة القليلة. مع مرور الوقت، سيتطور النظام وفق قوانين الفيزياء وسوف تتغير تلك الحالة. في وقت لاحق، هناك احتمال كبير بأن تتغير تلك الحالة إلى حالة أكثر فوضوية، لأنه، وببساطة، توجد الكثير من الحالات الغير مرتبة والتي تفوق بكثير الحالات المرتبة المحدودة. وهكذا، **فإن الفوضى تميل إلى الزيادة مع مرور الوقت إذا كان النظام قد بدأ بحالة من الترتيب العالي.**

لنفترض أن قطع أُحجية الصور المقطوعة قد بدأت بنظام بحيث تشكل صورة كاملة. إذا قمت بهز الصندوق، ستتخذ القطع ترتيبات أُخرى. ومن المحتمل أن يكون هذا الترتيب لا يشكل أي صورة ذات معنى، لأنه وببساطة هناك الكثير من الا**حتمالات الغير المرتبة.** قد لا تزال بعض القطع تشكل جزءاً من الصورة الكاملة، لكن إذا هززت الصندوق أكثر فإنه على الأرجح ستتدمر تلك الأجزاء المرتبة. القطع ستتخذ وضعاً مختلطاً كلياً بحيث لا **تشكل أي صورة ذات معنى. وهكذا، فإن فوضى القطع تزداد مع الوقت إذا بدأت تلك القطع بحالة عالية من النظام.**

لنفترض، مع ذلك، أن الله قد قرر أن الكون يجب أن ينتهي في وقت متأخر جداً بحالة عالية من النظام بغض النظر عن الحالة التي بدأ منها. ثم في وقت لاحق، قد يكون الكون في حالة من الفوضى، لكن يجب أن تنقص هذه الفوضى مع مرور الوقت. في هذه الحالة ستُجمع الكؤوس المكسورة نفسها من على الأرض وتقفز مرة أُخرى إلى **الطاولة.** لذلك، أي كائنات يلاحظون تلك الكؤوس فهم **سيعيشون في كون تقل فيه الفوضى مع مرور الوقت.** سأجادل بأن مثل هذه الكائنات سيكون لها سهم زمن نفسي يسير في الاتجاه المعاكس. وبالتالي هذا سيعني أنهم يتذكرو**ن المستقبل وليس الماضي!**

السهم النفسي

من الصعب التحدث عن الذاكرة البشرية لأننا لا نعرف كيف يعمل الدماغ بالتفصيل. لكنا نعلم كيف تعمل ذاكرة الكمبيوتر. لذلك سوف أناقش السهم النفسي للزمن الخاص بالكمبيوترات. وأعتقد أنه من المعقول أن نفترض أن ذلك السهم الخاص بالكمبيوترات هو نفسه للبشر. إذا لم يكن كذلك، فيمكن لأحدهم أن يفتعل **قتالاً في البورصة عن طريق كمبيوتر يتذكر أسعار الغد.**

ذاكرة الكمبيوتر هي في الأساس عبارة عن **جهاز يمكن أن يكون في واحدة من حالتين.** ومن الأمثلة على ذلك حلقة السلك فائق التوصيل. فإذا كان هناك تيار كهربائي يتدفق في حلقة، فسوف يستمر في التدفق لأنه لا توجد أي مقاومة. من ناحية أخرى، إذا لم يكن هناك تيار، ستستمر الحلقة دون تيار. يمكن أن نسمي تلك الحالتين للذاكرة "واحد" و "صفر". قبل تسجيل عنصر في الذاكرة، تكون الذاكرة في حالة غير مرتبة مع احتمالات متساوية من واحد وصفر. بعدما تتفاعل الذاكرة مع النظام ليتم تذكر عنصر ما، سيكون بالتأكيد في حالة أو أخرى، وذلك وفقاً لحالة النظام. وهكذا، فإن الذاكرة تمر في حالة غير مرتبة إلى حالة مرتبة. ومع ذلك، من أجل التأ**كد من أن الذاكرة في الحالة الصحيحة، فمن الضروري استخدام كمية معينة من الطاقة.** وهذه الطاقة تُبَدَد **على شكل حرارة تزيد من كمية الفوضى في الكون. ويمكن أن نبين أن هذه الزيادة في الفوضى أكبر من الزيادة في ترتيب الذاكرة.** وهكذا، عندما يسجل الكمبيوتر عنصراً **في الذاكرة، فإن الكمية الكلية للفوضى في الكون ترتفع.**

اتجاه الزمن الذي يتذكر فيه الكمبيوتر الماضي هو نفس الاتجاه الذي تزداد فيه الفوضى. وهذا يعني أن شعورنا الشخصي في اتجاه الزمن، السهم النفسي للزمن، يتم تحديده بواسطة السهم الديناميكي الحراري للزمن. وهذا يجعل القانون الثاني للديناميكا الحرارية تافهاً تقريباً. تزداد الفوضى مع مرور الوقت لأننا نقيس الزمن في الا**تجاه الذي تزداد فيه الفوضى. لا يمكنك الحصول على رهان أكثر أماناً من ذلك.**

الشروط الحدية للكون

لكن لماذا يجب على الكون أن يكون في حالة عالية من النظام في إحدى نهايتي الزمن، تلك النهاية التي نطلق عليها الماضي؟ لماذا لم يكن في حالة فوضى في كل الأوقات؟ فذلك يبدو أكثر احتمالاً. ولماذا اتجاه الزمن يكون بحيث تزداد الفوضى مع توسع الكون؟ أحد الإجابات المحتملة هو أن الله قد

اختار ببساطة أن يكون الكون في حالة سلسة ومرتبة في بداية مرحلة التمدد. يجب ألا **نحاول أن نفهم أو نسأله عن أسبابه، لأن بداية الكون من عمل الله. ولكن تاريخ الكون كله يمكن أن يُقال عنه بأنه عمل الله.**

يبدو أن الكون يتطور وفقاً لقوانين محددة تحديداً جيداً. هذه القوانين قد تكون وقد لا تكون مصممة من قبل خالق، ولكن يبدو **بأنه يمكننا اكتشافها وفهمها.** فهل من المعقول إذن أن نأمل في أن نفس هذه القوانين أو تشابهها قد تكون صالحة في بداية **الكون؟ في النظرية النسبية العامة الكلاسيكية، يجب أن تكون بداية الكون في فردانية ذات كثافة لا نهائية في انحناء الزمكان. في ظل هذه الظروف، ستنهار كل القوانين المعروفة في الفيزياء. وبالتالي، لا يمكن استخدام تلك القوانين للتنبؤ بكيفية بدء الكون.**

يمكن للكون أن يبدأ بحالة سلسة ومرتبة جداً. وهذا من شأنه أن يؤدي إلى أسهم ديناميكية وكونية للزمن محددة تحديداً جيداً، كما نلاحظها. لكن هناك احتمال متساوٍ تماماً بأن يبدأ الكون بحالة مضطربة وفوضية **جداً.** في هذه الحالة، سيكون الكون أساساً في حالة فوضى كلية، لذلك لا يمكن أن تزداد الفوضى مع مرور الزمن. بل ستبقى ثابتة، وفي هذه الحالة لن يكون هناك سهم ديناميكي حراري للزمن محدداً جيداً، أو يمكن أن تنقص الفوضى، وفي هذه الحالة سيشير اتجاه السهم الديناميكي الحراري للزمن في عكس اتجاه سهم **الزمن الكوني. ولن يتفق أي من هذين الاحتمالين مع ما نلاحظه.**

نوهت من قبل أن النظرية النسبية العامة الكلاسيكية تتنبأ بأن الكون يجب أن يبدأ بفردانية حيث انحناء الزمكان لا نهائي. في الواقع، هذا يعني أن النسبية العامة تتنبأ بانهيار نفسها. عندما يصبح انحناء الزمكان عالياً، تصبح آثار الجاذبية الكمومية مهمة، وتتوقف النظرية الكلاسيكية عن إعطائنا وصفاً جيداً **للكون. لذا لابد من استخدام نظرية الجاذبية الكمية لفهم كيف بدأ الكون.**

في نظرية الجاذبية الكمومية، يتم النظر إلى كل تواريخ الكون الممكنة. كل تاريخ يقترن بأعداد معينة. أحد تلك الأعداد يمثل حجم الموجة والآخر يمثل طورها، **وهذا سيحدد إذا ما كانت الموجة في القمة أو في القاع.** وتعطى احتمالية تكون كون ذي خصائص معينة بجمع موجات جميع التواريخ التي لها تلك الخصائص. ستكون التواريخ هي الفضاءات المنحية التي تمثل تطور **الكون مع الزمن.** وما زال بإمكاننا أن نقول كيف ستتصرف تلك **التواريخ المحتملة للكون على حدود الزمكان في الماضي.** نحن لا نستطيع أن نعرف الشروط الحدية للكون في الماضي. ومع ذلك، يمكن للمرء أن يتجنب هذه الصعوبة إذا كان شرط الحدود للكون أنه بلا حدود. بعبارة أخرى، كل التواريخ الممكنة محدودة في المدى ولكن ليس لها حدود، حواف، أو فردانيات. فهم مثل سطح

الأرض، لكن مع بعدين إضافيين اثنين أكثر. وفي هذه الحالة، تكون بداية الزمن عبارة عن **نقطة سلسة منتظمة من الزمكان.** وهذا يعني أن الكون قد بدأ توسعه بحالة سلسة ومرتبة جداً. ليس سلساً كلياً لأن ذلك من شأنه أن **ينتهك مبدأ عدم اليقين في نظرية الكم. كان يجب أن يكون هناك تقلبات صغيرة في كثافة وسرعة الجسيمات.** وشرط اللاحدود **سيعني ضمناً أن هذه التقلبات صغيرة جداً بقدر ما يمكن لها أن تكون، بحيث تتماشى مع مبدأ عدم اليقين.**

لقد بدأ الكون بمرحلة من التوسع الأُسي أو التضخمي. في هذه المرحلة، زاد من حجمه بمعامل ضخم جداً. خلال هذا التوسع، كان من الممكن أن تظل تقلبات الكثافة صغيرة في البداية، لكن لاحقاً بدأت تزداد. المناطق التي كانت فيه الكثافة أعلى من المتوسط كان قد تم إبطاء توسعها بواسطة قوة الجذب للكتل الزائدة. وفي نهاية المطاف، ستتوقف هذه المناطق عن التوسع، وتنهار لتشكل المجرات، ال**نجوم، وكائنات مثلنا.**

لقد بدأ الكون بحالة سلسة ومرتبة ومن ثم أصبح وعراً **وغير مرتب مع مرور الزمن. وهذا من شأنه أن يفسر وجود السهم الديناميكي الحراري للزمن.** كما قد نوهت سابقاً، السهم النفسي للزمن يشير في نفس اتجاه السهم الديناميكي الحراري للزمن. لذلك فإن إحساسنا الزمني سيكون مع توسع الكون، بدلاً من الا**تجاه المعاكس، بحيث ينكمش الكون.**

هل ينعكس سهم الزمن؟

لكن ماذا سيحدث لو توقف الكون عن التمدد وبدأ بالانكماش مرة أُخرى؟ هل يعني ذلك أن السهم الديناميكي الحراري للزمن سينعكس وستبدأ الفوضى في الانخفاض مع الزمن؟ هذا من شأنه أن يؤدي إلى جميع أنواع الخيال العلمي بالنسبة لأولئك البشر الذين سينجون من مرحلة التمدد إلى التقلص. هل سيرون الكؤوس المكسورة تجمع نفسها من على الأرض وتقفز إلى الطاولة مرة أُخرى؟ هل سيكونون قادرين على تذكر أسعار الغد وصنع ثروة في سوق الأسهم؟

يبدو أن هناك قلة من الأكاديميين القلقين حول ما سيحدث عندما ينهار الكون مرة أُخرى، لكن على أي حال لن يبدأ الكون في الانكماش إلا بعد عشرة آلاف مليون سنة على الأقل من الآن. لكن توجد هناك طريقة أسرع لمعرفة ما سيحدث: القفز داخل ثقب أسود. فانهيار نجم لتشكيل ثقب أسود هو مشابه

للمراحل الأخيرة من انهيار الكون. وبالتالي، إذا كانت الفوضى تنقص في مرحلة انكماش الكون، فيمكننا أن نتوقع ذلك أيضاً داخل ثقب أسود. لذلك قد يكون رائد الفضاء الذي سقط داخل ثقب أسود قادراً على كسب المال في لعبة الروليت وذلك بتذكر أين ذهبت الكرة قبل أن يضع رهانه. لكن لسوء الحظ، لن يكون قادراً على الصمود ليلعب قبل أن يتحول إلى سباغيتي بواسطة مجال الجاذبية القوي جداً. كما أنه لن يكون قادراً على إعلامنا عن انعكاس السهم الديناميكي الحراري للزمن، أو حتى عن أرباحه، لأنه سيُحاصر داخل **أفق حدث الثقب الأسود.**

في البداية، اعتقدت أن الفوضى ستنخفض في حال انكماش الكون. كان هذا لأنني اعتقدت أن الكون يجب أن يعود إلى حالة سلسلة ومنظمة عندما يصبح أصغر مرة أخرى. وكان من شأن ذلك أن يعني أن مرحلة إعادة انكماش الكون بمثابة انعكاس الزمن لمرحلة التمدد. وسيعيش الناس حياتهم عكسياً في مرحلة الا**نكماش.** هذه الفكرة جذابة لأنها تظهر تناظراً جميلاً بين مراحل التمدد والإ**نكماش.** ومع ذلك، لا يمكن أن يتبناها المرء لنفسه، بغض النظر عن الأفكار الأخرى حول الكون. والسؤال هو: هل هذه الفكرة متضمنة في شرط اللاحدود، أم أنها تتعارض مع ذلك الشرط؟

لقد ظننت في البداية أن شرط اللاحدود يدل بالفعل ضمناً على أن الفوضى ستنخفض في مرحلة الانكماش. واستند ذلك على نموذج بسيط للكون بحيث تبدو أن مرحلة الانكماش وكأنها انعكاس لزمن مرحلة التمدد. ومع ذلك، أشار زميل لي، دون بيج، أن شرط اللاحدود لا يتطلب بالضرورة أن ينعكس سهم زمن التمدد في مرحلة الانكماش. أيضاً، أحد طلابي، ريمون لافلام، وجد في نموذج أكثر تعقيداً قليلاً، أن انهيار الكون مختلف جداً عن تمدده. لقد أدركت أنني قد ارتكبت خطأ. في الواقع، شرط اللاحدود يدل على أن الفوضى ستستمر في الزيادة خلال مرحلة الانكماش. السهم الديناميكي الحراري للزمن والسهم النفسي للزمن لن ينعكسا عندما يبدأ الكون في الا**نكماش أو داخل الثقوب السوداء.**

ماذا يجب عليك أن تفعل عندما تجد أنك قد ارتكبت خطأ من هذا القبيل؟ بعض العلماء، مثل إدينغتون، لا يعترفون أنهم على خطأ. سيستمرون في إيجاد حججاً جديدة، وغالباً ما تكون غير متسقة، لدعم قضيتهم. ويدعي آخرون أنهم لم يؤيدوا أبداً وجهة النظر الخاطئة منذ البداية، أو لو فعلوا ذلك، فقط ليبينوا أنها غير متسقة. ويمكنني أن أعطي عدداً كبيراً من الأمثلة على ذلك، ولكنني لن أقول لأن ذلك سيجعلني غير محبوب شعبياً. يبدو لي أفضل بكثير وأقل ارتباكاً لو اعترفت منذ البداية أنني مخطئ. ومن الأمثلة الجيدة على ذلك

آينشتاين، الذي قال عن الثابت الكوني، الذي **أدخله عندما كان يحاول صنع نموذج ساكن للكون، بأنه أكبر خطأ في حياته.**

المحاضرة
السابعة
"والأخيرة"

نظرية كل شيء

سيكون من الصعب جداً بناء نظرية توحيد كاملة لكل شيئ دفعة واحدة. لذا، بدلاً من ذلك، أحرزنا تقدماً من خلال إيجاد نظريات جزئية. هذه النظريات الجزئية تصف مجموعة من الظواهر وتهمل أُخرى، أو تُقرب تلك الظواهر إلى تقريبات جيدة. ففي الكيمياء، على سبيل المثال، يمكننا حساب تفاعلات الذرات دون معرفة البنية الداخلية لنواة الذرة. لكن ومع هذا، نأمل في نهاية المطاف من إيجاد نظرية كاملة، متسقة، وموحدة، تشمل كل النظريات الجزئية كتقريب لها. البحث عن مثل هذه النظرية يُعرف باسم **"توحيد الفيزياء".**

قضى آينشتاين معظم سنوات حياته الأخيرة في البحث عن نظرية موحدة لكن دون جدوى، لكن في زمنه لم يكن الوقت قد حان بعد: فلم يكن يُعرف عن القوى النووية سوى القليل. وعلاوة على ذلك، رفض آينشتاين الاعتقاد بحقيقة ميكانيكا الكم، رغم أنه لعب دوراً هاماً في تطويرها. ورغم ذلك، يبدو **بالفعل أن مبدأ عدم اليقين هو سمة أساسية من سمات الكون الذي نعيش فيه. لذلك فإن أي نظرية موحدة يجب أن تتضمن بالضرورة هذا المبدأ.**

آفاق إيجاد مثل هذه النظرية تبدو أفضل بكثير الآن، لأننا نعرف اليوم الكثير عن الكون. ولكن يجب علينا الحذر من الإفراط في الثقة. لقد ارتكبنا خطأً فادحاً من قبل. ففي بداية القرن العشرين، على سبيل المثال، كان هناك اعتقاد بأن كل شيئ يمكن تفسيره من خلال خصائص المادة المتصلة، مثل المرونة والتوصيل الحراري. إن اكتشاف البُنية الذرية **ومبدأ عدم اليقين وضع حداً لذلك.** ثم مرة أُخرى، في عام ١٩٢٨، قال ماكس بورن [41] لمجموعة من زوار جامعة غوتنغن: " الفيزياء، كما نعرفها، ستنتهي خلال ستة أشهر." وأسند ثقته إلى اكتشاف ديراك مؤخراً للمعادلة التي تحكم سلوك الإلكترون. وكان

يُعتقد أن هناك معادلة أخرى، تحكم سلوك **البروتون، الذي كان الجسيم المعروف الآخر في ذاك الوقت، وبالتالي ستكون نهاية الفيزياء النظرية. لكن، أتى اكتشاف النيوترون والقوى النووية الأخرى كضربة قوية على الرأس.**

مازلت أعتقد أن هناك أسباباً للتفاؤل الحذر بحيث أننا الآن قد نكون بالقرب من نهاية البحث عن قوانين الطبيعة النهائية. في الوقت الراهن، لدينا عدد من النظريات الجزئية. لدينا النسبية العامة، **النظرية الجزئية للجاذبية، والنظريات الجزئية التي تحكم القوى الضعيفة، القوية، والكهرومغناطيسية. ويمكن جمع القوى الثلاثة الأخيرة فيما يعرف باسم "النظريات الموحدة الكُبرى"**. لكنها ليست مرضية جداً لأنها لا تشمل الجاذبية. الصعوبة الرئيسية في **إيجاد نظرية توحد الجاذبية مع القوى الأُخرى هو أن النسبية العامة نظرية كلاسيكية. أي أنها لا تتضمن مبدأ عدم اليقين في ميكانيكا الكم. ومن ناحية أُخرى، تعتمد النظريات الجزئية الأُخرى على ميكانيكا الكم بشكل رئيسي. لذلك فإن الخطوة الرئيسية الأولى هي الجمع بين النسبية العامة ومبدأ عدم اليقين.** وكما رأينا في الفصول السابقة، يؤدي ذلك إلى بعض النتائج الملحوظة، مثل أن الثقوب السوداء لن **تكون سوداء تماماً، والكون المحتوي على نفسه تماماً دون أي حدود.** المشكلة أن مبدأ عدم اليقين يعني حتى أن المساحات الفارغة مليئة بأزواج الجسيمات ومضاداتها. **هذه الأزواج سيكون لها طاقة لا نهائية. وهذا يعني أن قوة الجاذبية بين تلك الجسيمات ستلوي الكون إلى حجم لا متناهي الصغر.**

على عكس ذلك، تبدو اللانهايات سخيفة في نظريات الكم الأُخرى. يمكن إلغاء اللانهايات من خلال عملية تسمى إعادة الاستنظام **Renormalization.** وهذا ينطوي على ضبط كتل الجسيمات ومقدار قوة القوى في النظرية بكمية لا نهائية. وعلى الرغم من أن هذه التقنية مشكوك فيها نوعاً ما من الناحية الرياضية، إلا أنها تبدو **عملية. وقد تم استخدام هذه التقنية لجعل التنبؤات تتفق مع الملاحظات التجريبية بدرجة غير عادية من الدقة.** ومع ذلك، إعادة الاستنظام، ينطوي على عيب خطير من وجهة نظر صنع نظرية شاملة. عندما تطرح النهاية من لانهاية أُخرى، فيمكن أن يكون الجواب أي شيئ ترغب به. وهذا يعني أن القيم الحقيقية لكتل الجسيمات ومقدار قوى تفاعلاتها لا يمكن التنبؤ بها **من الناحية الرياضية. بدلاً من ذلك، يجب أن يتم اختيارها لتتوافق مع القيم التجريبية. في حال النسبية العامة، لا توجد إلا كميتان يمكن تعديلهما: قوة الجاذبية ومقدار الثابت الكوني.** ولكن تعديل تلك الكميات ليس كافٍ لإزالة جميع اللانهايات. وبالتالي فإن هناك نظرية تتوقع أن بعض الكميات، مثل انحناء الزمكان، هي بالفعل لانهائية، ولكن هذه الكميات يمكن ملاحظتها وقياسها لتكون محدودة تماماً. وفي محاولة للتغلب على هذه المشكلة، تم

اقتراح نظرية تسمى "الجاذبية الفائقة **Supergravity**" في **عام ١٩٧٦.** هذه النظرية كانت مجرد نسبية عامة مع إدخال **بعض الجسيمات الإضافية.**

في النسبية العامة، يمكن اعتبار أن قوة الجاذبية محمولة بواسطة جسيم له لف مغزلي يساوي 2 يُدعى غرافيتون. لقد كانت الفكرة تكمن في إضافة بعض الجسيمات ذات لف مغزلي يساوي **2/3**، **2/1**، أو **0.** وبمعنى ما، يمكن اعتبار كل هذه الجسيمات بعد ذلك كجوانب مختلفة لجسيم واحد فائق. الأزواج الافتراضية لجسيم/جسيم مضاد ذات اللف المغزلي**2/1**و **2/3**سيكون لها طاقة سالبة. وهذا يميل إلى إلغاء الطاقة الموجبة لأزواج الجسيمات الافتراضية ذات اللف المغزلي **0**، **1**، و **2.** وبهذه الطريقة، فإن العديد من اللانهايات المحتملة سيتم إلغاؤها، ولكن ستظل بعض اللانهايات المشبوهة قائمة دون إزالة. ومع ذلك، فإن الحسابات المطلوبة لمعرفة إذا ما كانت هناك بعض اللانهايات القائمة دون إلغاء طويلة جداً وصعبة إلى درجة لا يوجد أحد لديه الاستعداد للاضطلاع بها. حتى لو استخدمنا كمبيوتر فإن ذلك سيستغرق أربعة سنوات على الأقل! إن الاحتمالات عالية جداً لأن يرتكب شخص ما خطأً واحداً على الأقل، وربما أكثر. لذلك ليعرف شخص ما أنه قد حصل على الإجابة الصحيحة يجب أن يكرر شخص آخرالحسابات ويحصل على نفس الجواب، ولا يبدو ذلك شيئاً مرجحاً.

وبسبب هذه المشكلة، كان هناك تغيير في الرأي لصالح ما يسمى نظريات الوتر String Theories. في هذه النظريات تكون المكونات الأساسية ليست جسيمات نقطية تحتل نقطة مفردة في الفضاء. بدلاً من ذلك، تلك المكونات لها طول لكن نهايته ليست مفتوحة، مثل حلقة وترية مغلقة رقيقة جداً. الجسيمات النقطية العادية تملأ نقطة في الفضاء عند كل لحظة من الزمن. وبالتالي، يمكن تمثيل تاريخها بخط في الزمكان يسمى "الخط العالمي World Line". أما الوتر، من ناحية أخرى، فإنه يملأ خطاً في الفضاء عند كل لحظة من الزمن. لذا فإن تاريخها في الزمكان هو سطح ثنائي الأبعاد تسمى " الصفيحة العالمية World Sheet". أي نقطة على الصفيحة العالمية يمكن وصفها بواسطة رقمين، أحدهما يحدد زمن النقطة، والآخر يحدد موقعها على الوتر. الصفيحة العالمية للوتر لها شكل أسطوانة أو أنبوب. شريحة من الأنبوب هي دائرة، والتي تمثل موقع الوتر عند زمن معين.

قطعتان من وترين مختلفين يمكن ضمهما معاً لتشكل وتراً واحداً. وبالمثل، قطعة وتر واحدة يمكن قسمها إلى وترين. في نظريات الأوتار، ما كنا نظنه سابقاً جسيمات نقطية، يُنظر له الآن على أنه موجات وترية مثل موجة على حبل. إطلاق أو امتصاص جسيم بواسطة جسيم آخر، تُطابق انقسام أو التحام مجموعة من الأوتار. على سبيل المثال، يمكن تصور قوة الجاذبية من الشمس

إلى الأرض على شكل أنبوب شكله على حرفه H. نظرية الأوتار هي، بطريقة ما، مثل نظام السباكة. الموجات على الجانبين الرئسيين للحرف H تمثل الجسيمات الموجودة على الأرض والشمس، أحد الجوانب يمثل ما على الأرض، والجانب الآخر يمثل ما على الشمس، والموجات على الخط الأفقي للحرف H تمثل قوة الجاذبية بينهما.

لنظرية الأوتار تاريخ غريب. فقد تم اختراعها في الأساس لتفسير القوة النووية القوية. كانت الفكرة تكمن في أن الجسيمات مثل البروتونات والنيوترونات يمكن اعتبارها كموجات على وتر. القوة القوية بين الجسيمات سيتم اعتبارها كقطع من الأوتار متقاطعة مع أوتار أخرى، مثل شبكة العنكبوت. ولتعطي هذه النظرية القيم الصحيحة الملاحظة تجريبياً للقوة النووية بين الجسيمات، يجب اعتبار الأوتار كشرائط مطاطية مع قوة سحب تعادل عشرة أطنان.

في عام ١٩٧٤ نشر جويل ششيرك وجون شوارتز ورقة أظهروا فيها أن نظرية الأوتار يمكن أن تصف قوة الجاذبية، لكن فقط إذا كانت قوة شد الوتر أعلى بكثير، حوالي 10^{39} طن. إن تنبؤات نظرية الأوتار ستكون نفس تلك التنبؤات الموجودة في النسبية العامة على المقاييس العادية، لكنها ستختلف عند المقاييس الصغيرة جداً، أقل من 10^{-33} سنتيمتر. إلا أن عملهم لم يحظ باهتمام كبير، لأنه في ذلك الوقت تقريباً، تخلى معظم الباحثين عن نظرية الأوتار الأصلية للقوة النووية. توفي شيرك في ظروف مأساوية، فقد كان يعاني من مرض السكري ودخل في غيبوبة في حين لم يكن بجانبه أي أحد لإعطاه حقن الإنسولين. فبقي شوارتز الداعم الوحيد، تقريباً، لنظرية الأوتار، لكنه الآن يحظى بدعم أعلى من قيمة شد الوتر التي افترضها!

ويبدو أن هناك سببان للإنعاش المفاجئ في الاهتمام بنظرية الأوتار في عام ١٩٨٤. أحدهم هو أن الباحثين لم يُحققا تقدماً كبيراً في إظهار أن نظرية الجاذبية الفائقة يمكن أن تكون محدودة دون ظهور اللانهايات، أو أنه يمكن أن تفسر أنواع الجسيمات التي نلاحظها. والسبب الآخر كان نشر ورقة بواسطة جون شوارتز ومايك غرين أظهرت أن نظرية الأوتار يمكن أن تكون قادرة على شرح وجود جسيمات لها خاصية حلزونية يسارية، مثل بعض الجسيمات التي نلاحظها. أياً كانت الأسباب، فإن عدداً كبيراً من الباحثين بدأوا في العمل على نظرية الأوتار. وقد تم تطوير نسخة جديدة، تسمى نظرية الأوتار الهجينة. بدا ذلك كله وكأنه قادر على شرح أنواع الجسيمات التي نلاحظها. نظرية الأوتار تؤدي أيضاً إلى ظهور لانهايات، لكن يُعتقد أنها سوف تزول في النسخ المحدثة مثل نظرية الأوتار المهجنة. لكن مع ذلك، لدى نظرية الأوتار مشكلة أكبر منِ

ذلك. فيبدو أنها متسقة فقط إذا كان للزمكان عشرة أو ستة وعشرين بعداً، بدلاً من الأبعاد الأربعة المعروفة. وبطبيعة الحال، فإن أبعاد الزمكان الإضافية شائعة في الخيال العلمي؛ في الواقع فكرة تلك الأبعاد الإضافية مهمة في الخيال العلمي. وإلا فإن حقيقة النظرية النسبية التي تمنع أي شيئ أن ينتقل بسرعة أعلى من سرعة الضوء ستجعل المرء يستغرق وقتاً طويلاً جداً للسفر عبر مجرتنا، ناهيك عن المجرات الأخرى. فكرة الخيال العلمي هو أن المرء يمكن أن يأخذ بعداً اضافياً مختصراً للتنقل في الفضاء. يمكن تصور ذلك كالتالي: تخيل أن الفضاء الذي نعيش فيه لديه بعدين فقط ومنحني مثل قطعة الدونات. إذا كنت على جانب أحد حلقتي الدونات وتريد أن تصل إلى الجانب الآخر، فيجب عليك السير على طول مسار الدونات المنحني. لكن، إذا كنت قادراً على الحركة في البعد الثالث، فيمكنك الإنتقال مباشرة بخط مستقيم إلى الجانب الآخر.

لماذا إذن لا نلاحظ تلك الأبعاد الإضافية إذا كانت موجودة بالفعل؟ لماذا لا نرى سوى ثلاثة أبعاد مكانية وبعد زمني واحد؟ الاقتراح هو أن الأبعاد مقوسة إلى مساحة صغيرة جداً حوالي مقدار واحد على مليون مليون مليون مليون من البوصة. وهذا صغير جداً إلى درجة أننا لا نلحظ ذلك. نحن نرى فقط ثلاثة أبعاد مكانية وبعد زمني واحد بحيث يكون الزمكان كله مسطح. مثل سطح برتقالة: إذا نظرت إليها عن قرب، ستجدها منحنية ومجعدة، لكن إذا نظرت إليها من مسافة بعيدة فلن ترى التجعدات وستبدو أنها سلسة. بالمثل بالنسبة للزمكان؛ فعلى المقياس الصغير جداً، هناك عشرة أبعاد منحنية جداً، لكن لا نستطيع رؤيتها أو رؤية انحنائها.

إذا كانت هذه الصورة صحيحة، فإنها تحمل أخباراً سيئة للمسافرين عبر الفضاء. فالأبعاد الإضافية ستكون صغيرة للغاية بما لا يسمح للسفن الفضائية بأن تمر من خلالها. وأيضاً هناك مشكلة أخرى؛ لماذا يجب أن تكون بعض الأبعاد، وليس كلها، ملتوية على نفسها على شكل كرات صغيرة؟ يفُترض في الكون المبكر جداً، أن جميع الأبعاد كانت منحنية جداً. فلماذا تسطحت ثلاثة أبعاد مكانية وبعد زمني واحد، بينما بقيت الأبعاد الأخرى ملتوية على نفسها بإحكام؟!

إحدى الإجابات الممكنة هو المبدأ الإنساني. حيث يبدو أن بعدين اثنين فقط من أبعاد المكان غير كافيين للسماح بتطور كائنات معقدة مثلنا. فعلى سبيل المثال؛ على الأشخاص ثنائيي الأبعاد الذين يعيشون على أرض أحادية البعد أن يتسلقوا على بعضهم البعض ليتجاوزوا بعضهم. فإذا أكل مخلوق ثنائي الأبعاد شيئاً ما فإنه لن يستطيع أن يهضمه تماماً، وبالتالي يجب عليه أن يرفع البقايا بنفس الطريقة التي ابتلع بها، لأنه لو كان هناك مرور من خلال جسده،

فسينقسم ذلك المخلوق إلى جزأين منفصلين. وبالمثل، فإنه من الصعب أن نرى كيف يمكن أن تكون هناك أي دورة دموية في مخلوق ثنائي البعد. ستكون هناك أيضاً مشاكل في حال وجود أكثر من ثلاثة أبعاد مكانية. ستنخفض قوة الجاذبية بين أي جسمين بشكل أسرع مما هو الحال في ثلاثة أبعاد. وأهمية ذلك تكمن في أن مدارات الكواكب، مثل الأرض، حول الشمس لن تكون مستقرة. وأي اضطراب في مدار الكوكب، مثل ذلك الاضطراب الناجم من قوة جاذبية الكواكب الأخرى، سيجعل الأرض إما أن تهوي بشكل حلزوني داخل الشمس أو تفلت وتبتعد عن الشمس. ونحن إما سنتجمد أو نحترق. في الواقع، نفس سلوك الجاذبية مع المسافة سيعني أن الشمس لن تظل مستقرة هي الأخرى. فإما أن تتناثر أو تنهار لتشكل ثقباً أسوداً. في كلتى الحالتين، لن يكون هناك الكثير من الحرارة والضوء للحياة على الأرض. وعلى القياس الأصغر، فإن القوة الكهربائية التي تجعل الإلكترونات تتحرك حول النواة في الذرة ستتصرف بنفس الطريقة التي تتصرف بها قوة الجاذبية. وبالتالي، فإن الإلكترونات إما أن تهرب من الذرة تماماً أو تسقط بشكل حلزوني ناحية النواة. وفي كلتا الحالتين، لن نحصل على الذرات التي نعرفها. ويبدو أنه من الواضح، أن الحياة، كما نعرفها على الأقل، لا يمكن أن تتواجد إلا في مناطق من الزمكان بحيث يكون هناك ثلاثة أبعاد مكانية وبعد زمني واحد غير ملتويين بشكل صغير جداً على نفسيهما. وهذا يعني أنه يمكن أن نطعن في المبدأ الإنساني، بشرط أن نبرهن على نظرية الأوتار يجب أن تسمح على الأقل بتكون مناطق مثل تلك الموجودة في الكون. ويبدو في الواقع أن كل نظرية أوتار تسمح بتلك المناطق. قد تكون هناك مناطق أخرى في الكون، أو في أكوان أخرى (مهما قد يعني ذلك) تكون فيها كل الأبعاد ملتوية على نفسها، أو هناك أكثر من ثلاثة أبعاد مكانية تكون مسطحة تقريباً. لكن لن يكون هناك كائنات ذكية في هذه المناطق لمراقبة العدد المختلف من الأبعاد الفعالة.

وبغض النظر عن مسألة عدد الأبعاد في الزمكان، مازال هناك الكثير من المشاكل الأخرى في نظرية الأوتار التي يجب أن تحلها قبل أن نهتف على أنها نظرية نهائية موحدة في الفيزياء. نحن لا نعرف حتى الآن إذا ما كانت كل اللانهايات تُلغي بعضها البعض، أو كيف ترتبط الموجات المهتزة على الأوتار بأنواع معينة من الجسيمات التي نلحظها. ومع ذلك، فمن المرجح أن يتم العثور على إجابات لهذه الأسئلة على مدى السنوات القليلة المقبلة، وبحلول نهاية القرن العشرين سنعرف إذا ما كانت نظرية الأوتار هي ما كنا نسعى خلفه حقاً كنظرية موحدة للفيزياء.

هل يمكن أن تكون هناك نظرية موحدة لكل شيء؟ أم أننا فقط نطارد سراباً؟ يبدو أن هناك ثلاثة احتمالات:

- هناك فعلاً نظرية موحدة كاملة، وسوف نكتشفها يوماً ما إذا أصبحنا أذكياء بما فيه الكفاية.
- لا توجد نظرية نهائية للكون. مجرد تسلسل لانهائي من النظريات التي تصف الكون بأكثر وأكثر دقة.
- لا توجد نظرية للكون. لا يمكن التنبؤ بالأحداث خارج نطاق معين ولكن تحدث بطريقة عشوائية واعتباطية.

وقد يجادل البعض بالاحتمال الثالث على أساس أنه لو كانت هناك مجموعة كاملة من القوانين، فإن ذلك من شأنه أن ينتهك حرية الله في تغيير عقله والتدخل في شؤون العالم. إنها تشبه إلى حد ما المفارقة القديمة التي تقول: هل يستطيع الله أن يخلق حجراً ثقيلاً بحيث لا يستطيع هو نفسه أن يرفعه؟ لكن فكرة أن الله قد يرغب في تغيير رأيه هو مثال على المغالطة، التي أشار إليها القديس أوغسطين، من تخيل الله ككائن موجود في الزمن. الزمن فقط هو خاصية للكون الذي خلقه الله. ويُفترض أنه كان يعرف ما ينوي فعله عندما وضع قوانين الكون.

ومع ظهور ميكانيكا الكم، أدركنا أن الأحداث لا يمكن التنبؤ بها بدقة كاملة، حيث أن هناك دائما درجة من عدم اليقين. يمكنك أن تنسب هذه العشوائية لتدخل الله إذا كنت تحب ذلك. لكنه سيكون نوعاً غريباً جداً من التدخل. ولا يوجد دليل على أنه موجه نحو أي غرض. في الواقع، لو كان كذلك، فإنه لن يكون عشوائياً. وفي العصر الحديث، أزلنا بالفعل الإمكانية الثالثة عن طريق إعادة تحديد هدف العلم. وهدفنا هو صياغة مجموعة من القوانين التي تمكننا من التنبؤ بالأحداث حتى الحد الذي يحدده مبدأ عدم اليقين.

الاحتمال الثاني، أن هناك تسلسل لا حصر له من النظريات الأكثر وأكثر دقة، يتفق مع كل ما لدينا من خبرة حتى الآن. في العديد من المناسبات، قمنا بزيادة حساسية قياساتنا أو صنع فئة جديدة من الملاحظات فقط لاستكشاف الظواهر الجديدة التي لم تتنبأ بها النظريات الموجودة. لحساب ذلك، كان يجب علينا أن نطور نظرية أكثر تقدماً. لذلك لن يكون من المستغرب جداً إذا وجدنا أن نظرياتنا الموحدة العظيمة الحالية تنهار عندما نختبرها بمسرعات الجسيمات الأكبر والأقوى. في الواقع، إذا لم نتوقع منهم الانهيار، فلن يكون من المجدي إنفاق كل هذا المال على بناء آلات أكثر قوة.

ومع ذلك، يبدو أن الجاذبية قد توفر حداً لهذا التسلسل "صناديق داخل الصناديق". لو كان لدينا أحد الجسيمات يمتلك طاقة أعلى من تلك الطاقة التي نسميها "طاقة بلانك"، 10^{19} جيجا إلكترون فولت [42]، فإن كتلته ستكون مُركزةِ إلى درجة أنها ستهوي على نفسها عن بقية الكون وتشكل ثقباً أسوداً

صغيراً. وهكذا، يبدو أن تسلسل النظريات إلى أكثر وأكثر دقة يجب أن يكون له حد كلما صعدنا في الطاقة أعلى فأعلى. يجب أن تكون هناك نظرية نهائية للكون. وبطبيعة الحال، فإنه على سلم الطاقات، تكون طاقة بلانك على بعد طويل جداً من طاقات الجيجا إلكترون فولت، التي هي أكثر ما يمكن لنا أن ننتجه في المختبر في الوقت الحالي [43]. وسد هذه الفجوة يتطلب بناء مسرع جسيمات أكبر من النظام الشمسي. ومن غير المحتمل أن يتم تمويل هذا المعجل في المناخ الاقتصادي الحالي.

ومع ذلك، فإن المراحل المبكرة جداً من الكون هي الساحة التي يجب أن تحدث فيها تلك الطاقات. أعتقد أن هناك فرصة جيدة من أن دراسة الكون المبكر ومتطلبات الاتساق الرياضي له سوف تقودنا إلى نظرية موحدة كاملة مع نهاية القرن العشرين. طبعاً هذا في حال إذا ما دمرنا أنفسنا قبل ذلك.

وماذا سيعني لو اكتشفنا نظرية نهائية للكون؟ من شأن ذلك أن يكون نهاية لفصل طويل من المجد في تاريخ كفاحنا لفهم الكون. ولكن ذلك سيحدث ثورة في فهم الشخص العادي للقوانين التي تحكم الكون. في زمن نيوتن كان من الممكن لشخص متعلم أن يكون على فهم كامل للمعرفة البشرية، على الأقل في خطوطها العريضة. ولكن منذ ذلك الحين، جعل تطور وتيرة العلم ذلك أمراً مستحيلاً. وقد تم تغيير النظريات باستمرار لمراعاة الملاحظات الجديدة. ولم يتم هضم أو تبسيط تلك النظريات بشكل صحيح حتى يتمكن الناس العاديون من فهمها. كان عليك أن تكون متخصصاً، وفقط يمكنك أن تأمل في فهم جزء صغير من النظريات العلمية بشكل صحيح.

وعلاوة على ذلك، كان معدل التقدم سريع جداً بالنسبة لما كنا نتعلمه في المدرسة أو في الجامعة. فقط عدد قليل من الناس يستطيعون مواكبة حدود المعرفة السريعة. وقد كرسوا كامل وقتهم لذلك، وتخصصوا في منطقة صغيرة. ولم يكن لدى بقية الناس فكرة عن مدى أوجه التقدم التي تم إحرازها.

قبل سبعين عاماً، كان ادينغتون يعتقد أن هناك فقط شخصين قادرين على فهم النظرية النسبية العامة. وفي الوقت الحاضر، هناك عشرات الآلاف من خريجي الجامعات يفهمونها، والعديد من ملايين الناس لديهم على الأقل دراية بفكرة النظرية. إذا تم اكتشاف نظرية موحدة كاملة، فستكون مجرد مسألة وقت قبل أن يتم هضمها وتبسيطها بنفس الطريقة. وبعد ذلك يتم تدريسها في المدارس، على الأقل بخطوطها العريضة. وعندها سنتمكن جميعاً من فهم بعض القوانين التي تحكم الكون والمسؤولة عن وجودنا.

سأل آينشتاين ذات مرة سؤلاً: كم كانت مساحة الاختيار متاحة لله في بناء الكون؟ إذا كانت فكرة اللاحدود صحيحة، فليس لديه حرية على الإطلاق لاختيار الشروط الأولية. لكن بالطبع، مازال لديه حرية اختيار قوانين الكون. ومع ذلك، فإن هذا لا يعني أن هناك الكثير من الطرق لاختيار قوانين الكون. قد تكون هناك فقط نظرية واحدة أو عدد قليل من النظريات الموحدة المتسقة ذاتياً والتي تسمح بوجود كائنات ذكية.

يمكننا أن نسأل عن طبيعة الله حتى لو كان هناك احتمالية واحدة لنظرية موحدة ممكنة مكونة من قواعد ومعادلات. ما ذلك السحر الموجود في المعادلات بحيث يجعلها قادرة على وصف الكون؟ إن النهج المعتاد للعلم هو بناء نموذج رياضي لا يمكنه الإجابة على سؤال لماذا يجب أن يكون هناك كون يوصف بنموذج؟ لماذا ينشأ الكون ويتحمل عناء وجوده؟ هل النظرية الموحدة مقنعة إلى درجة أنها تجلب وجودها الخاص؟ أم أنها تحتاج إلى خالق، وإذا كان الأمر كذلك، فهل لهذا الخالق أي تأثير على الكون، غير مسؤوليته في خلقه؟ ومن خلقه هو؟

حتى الآن، كان معظم العلماء مشغولين في تطوير نظريات جديدة تصف ما هو الكون. من ناحية أخرى، فإن هؤلاء الذين وظيفتهم طرح سؤال لماذا، أي الفلاسفة، لم يكونوا قادرين على مواكبة تقدم النظريات العلمية. في القرن الثامن عشر، اعتبر الفلاسفة أن المعرفة الإنسانية كلها، بما في ذلك العلم، هو مجالهم. وناقشوا أسئلة مثل: هل للكون بداية؟ ومع ذلك، في القرنين التاسع عشر والعشرين، أصبح العلم تقنياً ورياضياً جداً بالنسبة للفلاسفة أو بالنسبة لأي شخص آخر، باستثناء عدد قليل من المتخصصين. وقد قلل الفلاسفة من نطاق استفساراتهم إلى حد كبير، حيث قال فيجينشتاين، وهو الفيلسوف الأكثر شهرة في القرن العشرين: "إن المهمة الوحيدة للفلسفة هي تحليل اللغة". كم هو انهيار للتقليد العظيم للفلسفة من أرسطو إلى كانط.

ومع ذلك، إذا اكتشفنا نظرية كاملة، ينبغي أن يكون مبدؤها مفهوماً للجميع، وليس فقط من قبل عدد قليل من العلماء. ثم سنكون جميعاً قادرين على المشاركة في مناقشة سؤال لماذا يوجد الكون؟ إذا وجدنا الجواب، فسيكون ذلك الانتصار النهائي للعقل البشري. عندها سنفهم عقل الله.

كلمة أخيرة (المترجم)

في الحقيقة مازلنا بعيدين كل البعد عن إيجاد ما يسمى "نظرية كل شيء"! فمنذ ظهور نظرية الأوتار حتى اليوم لم يتم إحراز أي تقدم تجريبي واحد يمكن على ضوءه أن نسير إلى نظرية نهائية. لقد أحرز النظريون تقدماً كبيراً منذ ذلك الوقت في إيجاد **بُنى رياضية لملامح نظرية نهائية، إلا أن ما وجدوه لا يمكن وصفه حالياً بأنه أكثر من مجرد ترف جمالي رياضي.**

منذ أن عمل مصادم الهادرونات الكبير **LHC** أمل الكثيرون من علماء الفيزياء في إيجاد دليل مباشر أو غير مباشر يمكن الاعتماد عليه لتوجيه أبحاث الفيزياء **النظرية إلى الطريق الصحيح.** لقد كان الأمل قائماً على إيجاد جسيمات ما يسمى "التناظر الفائق **Supersymmetry**". لأن نظرية الأوتار مبنية على صحة التناظر الفائق، فإذا انهار التناظر الفائق انهارت نظرية الأوتار ويصبح البحث فيها عقيماً. في الواقع بلغت الطاقة في مصادم الهادرونات الكبير إلى الحد المطلوب لظهور أحد جسيمات عائلة التناظر الفائق، لكن لم يلاحظ أحد أي شيئ حتى لحظة كتابة هذه السطور. لقد زاد ذلك من إحباط منظري نظرية الأوتار كثيراً، ولا أشك بأن الكثير منهم الآن قد تخلى **عن هذا المجال.**

في الواقع لدي الكثير جداً لأرويه عن حلم النظرية ال**نهائية في الفيزياء، لكن ليس الآن، ربما في كتاب آخر، أما كتابنا هذا فقد انتهى.**

*****

إصدارات مركز العلوم الطبيعية

النظرية النسبية الخاصة والرجال الذين صنعوها
يوسف البناي
الأغلفة الأربعة
عجائب العلوم
بداية اللا نهاية
ألبرت فيجنر
أصل القارات والمحيطات
أحمد الزعبي
قاسم البناي
كورونا والأوبئة
بين العلم والخرافة
الدقيقة الثالثة للخلق
يوسف البناي
البنية الواسعة للزمان والمكان
مقدمة إلى النظرية النسبية العامة
جول فيرن
من الأرض إلى القمر
علم المكان
نظرية كل شيء
أصل ومصير الكون
ثورات الفيزياء في القرن العشرين
يوسف البناي
Kalemat
طبيعة القانون الفيزيائي
ريتشارد فاينمان
ميكانيكا الكم بين العبقرية والعلم
ألبرت آينشتاين
حول الدين والعلم
معنى الحياة وآراء أخرى

[1] أفضل تقدير اليوم لعمر الكون حسب آخر الأرصاد هو تقريباً ١٣.٨ مليار عام منذ لحظة الانفجار العظيم. (المترجم) [2] القدر الظاهري apparent magnitude: هو مقدار لمعان النجم عند رؤيته من الأرض، وبالتالي هي كمية تعتمد على حجم النجم ودرجة حرارته وبعده عن الأرض. (المترجم) [3] ضياء النجم Luminosity: هو مقدار الطاقة الإشعاعية التي يبعثها النجم في الثانية الواحدة. (المترجم) [4] وحدة فلكية لقياس المسافات الشاسعة وليست وحدة لقياس الزمن. تساوي تقريباً ٦ مليون مليون ميل. (المترجم) [5] طيف النجم هو الألوان المميزة (الترددات المختلفه) التي تصدر منه. (المترجم) [6] تسمى (خطوط فراونهوفر) نسبة إلى عالم الفيزياء الألماني يوسف فون فراونهوفر.

[7] التردد: هو عدد الموجات التي تصل إلى مكان معين خلال زمن معين. (المترجم) [8] انزياح الضوء ناحية الأزرق يعني أن التردد يزداد وبالتالي النجم قادم باتجاه الأرض. أما الانزياح ناحية الأحمر فيعني نقصان التردد وبالتالي ابتعاد النجم عنا. (المترجم) [9] سرعة الإفلات هي السرعة المطلوبة للهروب من جاذبية الأرض. وكل نجم أو كوكب له سرعة إفلات خاصة به تعتمد على كتلته ونصف قطره. (المترجم) [10] النسبية العامة هي أفضل نظرية للجاذبية مطروحة حتى الآن، وقد نَشرتُ العام الماضي كتاباً بعنوان (البُنية الواسعة للزمان والمكان، مقدمة إلى النظرية النسبية العامة) فيه شرح مبسط ومُرَكز للنظرية، إضافة إلى شرح كل الأُسس الرياضية المطلوبة لفهمها. (المترجم) [11] الأشعة المايكروية هي موجات كهرومغناطيسية (ضوء) ذات تردد منخفض يقع بين 300 ميجاهرتز إلى 300 جيجاهيرتز. (المترجم) [12] الكون المرئي هو الكون الكروي الذي نستطيع مشاهدته عن طريق الضوء القادم من المجرات والنجوم وكل الأجرام التي يمكن أن يصل ضوءها للأرض بما في ذلك إشعاع الانفجار العظيم نفسه. أما ذلك الضوء القادم من المناطق التي تكونت فيها المجرات والنجوم والغازات وغيرها أثناء تمدد الكون ولم يصلنا ضوءها بعد فهي مناطق مجهولة تماماً بالنسبة لنا ولا نعرف عنها أي شيئ! (المترجم) [13] يسمى ذلك (ثابت هابل)، وقد تم تعديل قيمته كثيراً منذ إلقاء هذه المحاضرات. بناءً**على آخر وأفضل الأرصاد الفلكية التي أفضت إلى اكتشاف الطاقة المظلمة، نقول بأن الكون يزداد في معدل سرعة تمدده بمقدار ١٦٠ كيلومتر/ ثانية في كل مليون سنة ضوئية. (المترجم)** [14] لتفاصيل أكثر حول المادة المظلمة وكذلك الطاقة المظلمة التي لم تكن معروفة وقت القاء هوكينغ لهذه المحاضرات، انظر **في كتابنا** {البُنية الواسعة للزمان والمكان؛ **مقدمة إلى النظرية النسبية العامة}. (المترجم)** [15] العنقود المجري هو تجمع هائل من المجرات**، من مئات إلى آلاف المجرات المرتبطة ببعضها عن طريق قوة الجاذبية المتبادلة بينهما. (المترجم)** [16] **نُذكر مرة أُخرى بأن أفضل تقدير لعمر الكون الآن هو ١٣.٨ مليار عام. (المترجم)** [17] **الفردانية هي النقطة التي تنهار فيها قوانين الفيزياء والرياضيات بحيث تعطي نتائج بلا معنى مثل الأصفار واللانهايات! سيتكرر هذا المصطلح معك في ما تبقى من الكتاب. (المترجم)** [18] المخروط الضوئى **Light cone**: هو المسار الذي يتبعه الضوء المنبثق من حدث معين من نقطة معينة من المكان ولحظة معينة من الزمان وانتشاره في كل الاتجاهات خلال الزمكان. للمخروط الضوئى تطبيقات رياضية هائلة في النظرية النسبية الخاصة والعامة. للمزيد انظر في الفصل الأول من كتابنا {البُنية الواسعة للزمان والمكان؛ **مقدمة إلى النظرية النسبية العامة}. (المترجم)** [19] **Philosophical. Transactions of the Royal Society** [20] هي تموجات في انحناء الزمكان نفسه تنتشر على شكل

موجات. وقد تم الإ**علان عن اكتشافها العام الماضي من قبل مرصد اللايغو LIGO. (المترجم)** [21] يمكن للقارئ ذي الميول الرياضية أن يتابع الا**شتقاق الرياضي لهذه الحلول في فصل الثقوب السوداء من كتابنا {البُنية الواسعة للزمان والمكان؛ مقدمة إلى النظرية النسبية العامة}. (المترجم)** [22] **لعبة على شكل بيضة خشبية ذات رأس مستدير وفي أسفلها مسمار يُدار عليها خيط يمسك نصفها ويظل طرفه عالقاً بأحد أصابع اليد عندما تُرمى أرضاً لتدور على نفسها دورات سريعة جداً. (المترجم)** [23] كيب ثورن هو فيزيائى نظري أمريكي له إسهامات هامة في نظرية الجاذبية والفيزياء الفلكية. يعرفه أغلب الجمهور عندما تم اختياره كمستشار علمي للفيلم الرائع "ما بين النجوم Interstellar" وذلك للتأكد من أن صورة الثقب الأسود والثقب الدودي كانت دقيقة قدر الإمكان حسب قوانين الفيزياء**. (المترجم)** [24] Private Eye: مجلة أ**خبارية بريطانية ساخرة تأسست عام ١٩٦١. (المترجم)** [25] **Penthouse: مجلة بريطانية إباحية. (المترجم)** [26] في ١٤ سبتمبر ٢٠١٥، نجح مرصد الموجات الجاذبية "اللايغو" بالتقاط أول ملاحظة ناجحة لموجات الجاذبية، وكانت الإشارة متسقة مع التنبؤات النظرية لموجات جاذبية ناتجة من اندماج ثقبين أسودين، كتلة أحدهم تساوي حوالي ٣٦ كتلة شمسية والآخر حوالي ٢٩ كتلة شمسية. وتُعد هذه الملاحظة بحق دليل قاطع على وجود الثقوب السوداء. وبذلك على هوكينغ أن يُرسل مجلة بنتهاوس الإباحية كعزاء لمدة سنة إلى صديقه كيب ثورن. لكن برأيي أن كيب ثورن قد كبر كثيراً الآن ويحتاج إلى نوع مختلف **من المجلات! ومن سخرية القدر أن كيب ثورن قد نال جائزة نوبل في الفيزياء في هذا الشهر سبتمبر ٢٠١٧ مع رانير وايس و باري باريش كونهم مؤسسي مرصد اللايغو! (المترجم)** [27] **بحسب نظرية المجال الكمي فإن كل حقل له جسيم كمومي خاص به، فكما لحقل الضوء "فوتونات"، فإن حقل الجاذبية يُعتقد بأن له جسيمات تسمى "غرافيتونات". (المترجم)** [28] **الجسيمات الإفتراضية ليست جسيمات عادية كالإلكترون والفوتون، فهي ذات عمر قصير جداً جداً يتم تحديده من علاقة عدم اليقين. (المترجم)** [29] لمن يود رؤية برهان رياضي مبسط لهذه المحاججة فيمكنه الاطلاع على موضوع إشعاع هوكينغ في **كتابنا {البُنية الواسعة للزمان والمكان؛ مقدمة إلى النظرية النسبية العامة}. (المترجم)** [30] في عام ٢٠١٠، ادّعى فرانكوا بيلغرونو من جامعة ميلان أنه قد تكمن مع فريقه من صنع إشعاع هوكينغ في المختبر. لكن هناك شك بأن ما اكتشفه ليس له علاقة بإشعاع هوكينغ. وأيضاً قام الباحث الفيزيائي جيف شتاينهاور بمحاولة صنع ما يسمى "الثقب الأسود الصوتي Sonic Black Hole" ومن ثم رصد **إشعاع هوكينغ مختبرياً.** إلا أنه مازال عملاً غير واضح المعالم ولا يمكن الإجماع عليه حالياً. وبذلك تبقى مسألة إثبات أو نفي إشعاع هوكينغ معلقة حتى **إشعارٍ آخر. (المترجم)** [31] هو الإشعاع الذي تحدثنا عنه في المحاضرة الأولى والذي اكتشفه كل من بنزياس وويلسون**. (المترجم)** [32] 10^{66} تعني ١٠ وأمامها ٦٦ **صفراً! (المترجم)** [33] في ٢٤ اغسطس ٢٠٠٦، أعاد الإتحاد الفلكي الدولي تعريف مصطلح الكوكب، واعتبر بعد ذلك أن بلوتو كوكب قزم وتم استبعاده من كواكب المجموعة الشمسية**، ليصبح عدد كواكب المجموعة الشمسية ثمانية. (المترجم)** [34] للمزيد حول موضوع الكوانتا، راجع **كتابنا {ميكانيكا الكم بين الفلسفة والعلم}. (المترجم)** [35] مازال البحث عن الثقوب السوداء البدائية مستمراً، لكن إلى الآن لا يوجد أي **دليل مباشر وقاطع يثبت وجودها من عدمه. (المترجم)** [36] جمع التواريخ: هي أحد طرق صياغة نظرية ميكانيكا الكم، والتي تعتمد على فكرة أن الذرات والجسيمات دون الذرية تسلك عدداً لا

متناهٍ من المسارات في آنٍ واحد! تُعطي هذه الطريقة نفس النتائج التي تعطيها معادلة شرودينغر والصيغ الأخرى لميكانيكا الكم. تعود فكرتها إلى عالم الرياضيات والذكاء الاصطناعي المشهور نوربرت وينر، الذي ابتدعها لحل بعض المشاكل في الحركة البروانية. ثم امتدت هذه الفكرة إلى استخدامها في ميكانيكا الكم عن طريق بول ديراك في ورقة علمية له عام ١٩٣٣. ثم تم تطوير الأسلوب الكامل لهذه الفكرة عام ١٩٤٨ على يد ريتشارد فاينمان في رسالته للدكتوراه تحت إشراف جون ويلر. وتعرف هذه الصياغة على نطاق واسع الآن با**سم صياغة فاينمان لميكانيكا الكم. (المترجم).**

[37] هناك أربعة قوى تحكم قوانين الكون: الجاذبية، الكهرومغناطيسية (الضوء)، النووية القوية والنووية الضعيفة. تأثير القوتين النوويتين يعمل داخل الذرات والأنوية، لذا لا يمكننا ملاحظتهما والشعور بهما **في حياتنا اليومية. (المترجم)** [38] **التحول الطوري هو انتقال المادة من طور إلى آخر مما قد يسبب تغيير تام في الخواص الفيزيائية، ففي لحظة معينة يمكن للحجم أن يتغير بشكل كبير بين الطورين، مثل تحول الماء إلى بخار عند نقطة الغليان. (المترجم)** [39] نظريات التوحيد الكُبرى هي تلك النماذج النظرية التي تحاول الجمع بين القوتين النوويتين القوية والضعيفة مع القوة الكهرومغناطيسية دون قوة الجاذبية. ولاتزال المحاولات نظرية بحتة ولا يوجد إ**جماع على نموذج معين. (المترجم)** [40] تسمى هذه العملية تناظر **CPT (CPT Symmetry): C تعني Charge conjugation، P تعني Parity transformation، T تعني Time reversal. (المترجم)** [41] ماكس بورن عالم فيزياء نظرية ألماني وكان قائد للمجموعة التي اكتشفت ميكانيكا الكم في جامعة غوتنغ**ن.** اشتهر باكتشافه للتفسير الاحتمالي لميكانيكا الكم ونال عليه جائزة نوبل للفيزياء **عام ١٩٥٤. (المترجم)** [42] الإلكترون فولت هي وحدة لقياس الطاقة تُستخدم لقياس سرعة الجسيمات الذرية. **(المترجم)** [43] **في عام ٢٠١٥ سجل مصادم الهادرونات العملاق LHC طاقة بمقدار ١٣ تيرا إلكترون فولت. وهي أعلى طاقة مُسجلة حتى الآن في مختبر أرضي. (المترجم)**